

**POLITECHNIKA
ŚWIĘTOKRZYSKA**

**WYDZIAŁ MECHATRONIKI
I BUDOWY MASZYN**



PL ISSN 0239-6386
PL ISBN 978-83-63792-30-5

Leszek Radziszewski

**MODELOWANIE
BUDOWY I BALISTYKI KOŃCOWEJ
AMUNICJI MAŁOKALIBROWEJ**



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2015

Leszek Radziszewski **MODELOWANIE BUDOWY I BALISTYKI KOŃCOWEJ AMUNICJI MAŁOKALIBROWEJ**

Leszek Radziszewski

**MODELOWANIE
BUDOWY I BALISTYKI KOŃCOWEJ
AMUNICJI MAŁOKALIBROWEJ**

Kielce 2015

SKRYPTY NR 463

Redaktor Naukowy serii BUDOWA I EKSPLOATACJA MASZYN

prof. dr hab. inż. Stanisław ADAMCZAK, dr h.c.

Recenzent

plk. dr inż. Mirosław ADAMSKI, WSOSP

Redakcja

Aneta STARZYK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2015

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiejkolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 0239-6386

PL ISBN 978-83-63792-30-5

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Wykaz oznaczeń i określeń	8
3. Budowa wybranych nabojów	13
3.1. Naboje pistoletowe	14
3.2. Naboje pośrednie	26
3.3. Naboje do obrony osobistej	35
3.4. Naboje karabinowe	37
3.5. Amunicja o zmniejszonym zasięgu działania	44
3.6. Naboje do gładkolufowych strzelb bojowych	49
3.7. Amunicja bezpieczna	55
4. Modelowanie ran postrzałowych w żywym organizmie	61
4.1. Modelowanie zdolności pocisku do obezwładniania	61
4.2. Model ośrodka zastępczego	68
4.3. Testy laboratoryjne balistyki końcowej pocisków	72
4.4. Stabilizacja pocisku	76
4.5. Modelowanie balistyki końcowej pocisków w ośrodkach zastępczych	80
4.6. Dyskusja etyczna	98
5. Modelowanie budowy pocisków. Ćwiczenia	104
Ćwiczenie 1. Model wstępny pocisku	104
Ćwiczenie 2. Wyznaczanie obciążenia pola przekroju poprzecznego pocisku	107
Ćwiczenie 3. Wyznaczanie współczynnika kształtu pocisku	112
Ćwiczenie 4. Obliczanie współczynnika balistycznego	116
Ćwiczenie 5. Obliczanie energii kinetycznej pocisku na torze lotu	120
Ćwiczenie 6. Modelowanie prędkości pocisku i ciśnienia w lufie	124
Ćwiczenie 7. Modelowanie toru lotu pocisku	131

1 WSTĘP

Skrypt przeznaczony jest przede wszystkim dla studentów studiów I stopnia kierunku inżynieria bezpieczeństwa na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, interesujących się budową broni i amunicji małokalibrowej, jako pomoc dydaktyczna do przedmiotu środki indywidualnej ochrony. Można z niego również korzystać na zajęciach z przedmiotu modelowanie i symulacja. Skrypt został opracowany przy założeniu, że studenci posiadają wiedzę i umiejętności w zakresie mechaniki i wytrzymałości materiałów. Przedstawiono w nim podstawy modelowania budowy pocisków do amunicji małokalibrowej. Innym zagadnieniem, na które zwrócono uwagę, jest modelowanie oddziaływania pocisków na organizmy żywe. Przedstawiono też krótką dyskusję na temat zasad etycznych używania broni i amunicji.

Broń strzelecką ze względu na przeznaczenie możemy podzielić na wojskową podstawową, wyspecjalizowaną i niebojową. Do broni wyspecjalizowanej zaliczymy broń wyborową, granatniki, strzelby. W pracy opisane zostały wybrane naboje używane w broni małokalibrowej i strzelbach. Pojęcie amunicja rozumiane jest powszechnie jako środki techniczne broni zawierające w sobie materiał wybuchowy lub inny o działaniu rażącym, niszczącym, zakażającym, oświetlającym lub sygnalizującym, które imitują strzały oraz wybuchy. Przyjmując kryterium przeznaczenia, amunicję można podzielić na strzelecką, artyleryjską, raketową, saper-ską, morską, lotniczą, sportową, myśliwską i granaty. Biorąc pod uwagę budowę amunicji, dzieli się ją na bojową, ćwiczebną, treningową oraz przeznaczoną do badań balistycznych. Sposób oddziaływania na cel też może być podstawą dokonania podziału. Z tego punktu widzenia możemy przeprowadzić podział na [24]:

- a) amunicję o działaniu uderzeniowym – czynnikiem rażącym jest energia kinetyczna pocisku,
- b) amunicję o działaniu wybuchowym – czynnikiem rażącym jest fala uderzeniowa oraz energia kinetyczna pocisku,
- c) amunicję specjalną – czynnikiem rażącym jest inne zjawisko niż w poprzednich rodzajach, np. reakcja jądrowa.

W niniejszej pracy modelować będziemy budowę pocisków, które po zderzeniu z celem przekazują mu energię kinetyczną.

Przedstawiony podział broni i amunicji jest dosyć uproszczony, ponieważ jego zadaniem jest ułatwienie czytelnikowi mniej zorientowanemu w problematyce uzbrojenia właściwej orientacji w tej dziedzinie wiedzy. Kryterium podziału nabo-
jów strzeleckich może być rodzaj broni, do której są przeznaczone, oraz ich wylotowa energia kinetyczna. Autor, biorąc pod uwagę wylotową energię kinetyczną, przyjął następujący podział nabo-
jów:

1. Naboje pistoletowe przeznaczone do strzelania z pistoletów i pistoletów ma-
szynowych – nabojem standardowym jest 9x19 mm NATO, którego energia
kinetyczna wynosi 580 J.
2. Naboje pośrednie przeznaczone do strzelania z karabinków, karabinków ma-
szynowych, karabinków wyborowych i subkarabinków, łączących w sobie
cechy pistoletów maszynowych i karabinów – nabojem standardowym jest
5,56x45 mm NATO, którego energia kinetyczna wynosi 1700 J.
3. Naboje karabinowe przeznaczone do strzelania z karabinów oraz karabinów
maszynowych – nabojem standardowym jest 7,62x51 mm NATO, którego
energia kinetyczna wynosi 3300 J.
4. Naboje wielkokalibrowe przeznaczone do strzelania z wielkokalibrowych
karabinów maszynowych – nabojem standardowym jest 12,7x99 mm
NATO, którego energia kinetyczna wynosi 17000 J.

Przedmiotem zainteresowania w niniejszym skrypcie są przede wszystkim na-
boje standardowe wprowadzone i stosowane przez państwa należące do NATO. Na
ich przykładzie pokażemy budowę i działanie amunicji strzeleckiej. Wiele zagad-
nień zarysowanych w tym skrypcie zostało omówionych znacznie obszerniej
w pracy autora pt. *Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy
strzelaniu do wybranych celów*. Celem przedstawianej pracy jest ułatwienie czytel-
nikowi zbudowania modelu pocisku oraz jego walidację, jak również modelu rany
postrzałowej. Dlatego w niniejszej pracy przyjęto liczne uproszczenia zarówno
odnośnie budowy pocisków, jak i teorii analizujących ruch pocisku.

Publikacja składa się z 5 rozdziałów. W rozdziale drugim zestawiono ważniej-
sze oznaczenia stosowane w pracy oraz często stosowane określenia w języku an-
gielskim związane z nabojami małokalibrowymi. W rozdziale trzecim omówiono
różne zagadnienia związane z budową pocisków do nabo-
jów małokalibrowych. W rozdziale czwartym przeprowadzono analizę różnych teorii działania obezwład-
niającego pocisków oraz przedstawiono zasady wybierania ośrodka zastępczego do
badania oddziaływania pocisków na organizm żywy, jak również testy i kryteria
FBI w USA, oceniające jakość pocisków. Przeprowadzono również analizę modeli

oddziaływania różnych pocisków na organizm żywy. W rozdziale piątym przedstawiono siedem projektów obliczeniowych ułatwiających czytelnikowi samodzielne zbudowanie modelu pocisku. Na zakończenie każdego rozdziału lub projektu obliczeniowego zaproponowano literaturę, która zainteresowanemu czytelnikowi ułatwi bardziej szczegółową analizę przedstawianych problemów.

2 WYKAZ OZNACZEŃ I OKREŚLEŃ

- a – prędkość dźwięku w ośrodku, w którym przemieszcza się pocisk (w powietrzu 333 m/s)
- c – współczynnik balistyczny pocisku
- c_q – współczynnik masy pocisku, kg/m^3
- c_v – stała materiałowa ośrodka
- d – kaliber lub średnica pocisku, mm
- h – skok bruzd w lufie, mm
- h_p – odległość środka masy pocisku od punktu przyłożenia sił oporu aerodynamicznego, mm lub długość pocisku, mm
- i – współczynnik kształtu pocisku
- m – masa pocisku, g
- p – ciśnienie lub pęd
- p_m – ciśnienie maksymalne gazów powstałe podczas spalania ładunku prochowego w lufie, MPa
- p_w – ciśnienie gazów prochowych w chwili, gdy pocisk wylatuje z lufy, MPa
- v_w – prędkość wylotowa pocisku, m/s
- y – głębokość penetracji, mm
- A – pole przekroju poprzecznego prostopadłego do osi symetrii pocisku, cm^2
- A_p – obciążenie pola przekroju poprzecznego pocisku, kg/m^2
- E_w – energia kinetyczna wylotowa pocisku, J
- I_X – moment bezwładności pocisku względem osi podłużnej, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$
- I_Y – moment bezwładności pocisku względem osi poprzecznej, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$
- L – długość pocisku, mm
- R – współczynnik korelacji
- S_g – współczynnik stabilizacji wylotowej (żyroskopowej)
- ΔE – zmiana wartości energii kinetycznej pocisku, J
- ΔA – zmiana wartości pola przekroju poprzecznego prostopadłego do osi symetrii pocisku, m^2
- ρ – gęstość ośrodka, w którym przemieszcza się pocisk, kg/m^3
- ρ_{ON} – gęstość atmosfery standardowej na poziomie morza, $1,225 \text{ kg/m}^3$
- v – prędkość liniowa pocisku, m/s
- ω_X – prędkość obrotowa pocisku względem osi podłużnej, rad/s

- $C_{Y_{ap}}^{\delta}$ – pochodna współczynnika aerodynamicznej siły normalnej (siły nośnej) względem kąta
- η – względny skok bruzd w lufie wyrażony w kalibrach
- $K_M\left(\frac{v}{a}\right)$ – funkcja aerodynamicznego momentu wywracającego

W literaturze związanej z amunicją małokalibrową często występują skróty i określenia anglojęzyczne niezrozumiałe dla polskiego czytelnika, nawet jeżeli posługuje się on biegle językiem angielskim [1]. Z tego względu zebrano i wyjaśniono niektóre ważniejsze i często używane skróty i terminy:

Pociski FMJ (ang. Full Metal Jacket – pełnopłaszczowe) posiadają cienkościenną powłokę osiowo-symetryczną całkowicie zamkniętą (z wyjątkiem podstawy pocisku), w której osadzony jest rdzeń (najczęściej lity). Są to zazwyczaj pociski wojskowe, których przeznaczeniem jest raczej zranienie i czasowe obezwładnienie przeciwnika niż całkowite jego obezwładnienie, czyli pozbawienie życia. Pociski FMJ są tak projektowane, aby zminimalizować lub uniknąć całkowicie ich deformacji, zwłaszcza poprzecznej. Pociski pistoletowe najczęściej mają zaokrągloną część głowicową i walcową część tylną. Pociski karabinowe najczęściej mają ostrołukową część wierzchołkową, a część tylna może być walcowa lub w kształcie stożka ściętego. Dzięki temu dobrze penetrują większość materiałów. Osłonięta płaszczem część wierzchołkowa zabezpiecza pocisk przed deformacją poprzeczną, w efekcie czego pocisk, po zderzeniu z przeszkodą miękką, powinien pozostać w całości (pociski w nabojach kalibru 5,45x39 mm i 5,56x45 mm szczególnie często ulegają fragmentacji). Liczne badania wykazały, że fragmentacji mogą ulegać pociski wszystkich kalibrów. Decydują o tym przede wszystkim: budowa, właściwości fizyczne materiału pocisku i przeszkody oraz warunki uderzenia (prędkość pocisku, kąt uderzenia) [2].

Pociski JSP (ang. Jacketed Soft Point) mają płaszcz metalowy niepełny (tzw. pociski półpłaszczowe) – w efekcie czego miękki rdzeń w części wierzchołkowej nie jest zakryty. Przy uderzeniu w gęsty ośrodek miękki wierzchołek pocisku gwałtownie się deformuje. Pociski te projektowane są tak, aby po zderzeniu z przeszkodą mogły gwałtownie zwiększyć wartość pola przekroju poprzecznego i przyjąć kształt zbliżony do grzyba. Powoduje to, że środek masy pocisku pozostaje w jego części przedniej, a trajektoria ruchu pocisku w celu nie ulega zmianie. Zwiększona wartość pola powierzchni części przedniej pocisku powoduje większe zniszczenia w trafionym ośrodku w porównaniu z pociskami nieulegającymi deformacji. Taki sposób defor-

macji pozwala zaprojektować pocisk o mniejszym kalibrze, większej prędkości i większej wartości pola powierzchni uderzenia. Kształt i budowa tych pocisków są zróżnicowane. Spotyka się pociski zarówno z płaską, zaokrągloną, jak i ostrołukową częścią głowicową. Ekspansja pocisku JSP zależy głównie od grubości płaszcza, twardości rdzenia, prędkości uderzenia, kształtu części głowicowej nieosłoniętej płaszczem. Wielkość ekspansji powinna wynosić około 160%. Należy zaznaczyć, że z różnych względów tylko około 50% wystrzelonych pocisków JSP ekspanduje. Ekspansja nowszych pocisków JSP przebiega w sposób kontrolowany i przyjmują one symetryczny kształt zbliżony do banana z rozchylonymi na zewnątrz skórkami.

Pociski JHP (ang. Jacketed Hollow Point) – ich charakterystycznym elementem jest płaszcz, który w części wierzchołkowej zakończony jest małym sferycznym otworem, natomiast rdzeń posiada wgłębienie wierzchołkowe. Pociski te są tak projektowane, aby w momencie zderzenia z przeszkodą ulegały znacznej deformacji. Efekt „grzybkowania” zachodzi znacznie szybciej, ponieważ po zderzeniu z przeszkodą ciśnienie powietrza we wgłębieniu wierzchołkowym wzrasta do dużych wartości, co często również powoduje przesuwanie (ściąganie) płaszcza do tyłu. Kształt płaszcza pocisku w części wierzchołkowej jest tak dobrany, żeby zabezpieczyć pocisk przed nieplanowaną ekspansją i rozcaleniem. Dla każdego pocisku określić można wartość graniczną minimalnej energii kinetycznej uderzenia lub pędu, po przekroczeniu której wystąpi ekspansja. Pociski półpłaszczowe mogą być trochę celniejsze niż pociski pełnopłaszczowe. W pociskach półpłaszczowych dno pocisku jest jednolite i prostopadłe do osi symetrii z dużą dokładnością. Powoduje to, że siły oddziaływania powylotowych gazów prochowych oraz oporu dennego są z większą dokładnością osiowosymetryczne niż w pociskach pełnopłaszczowych, których dno rdzenia jest częściowo odkryte.

Pociski BT (ang. Boat Tail) mają część tylną zwężającą się łagodnie (w kształcie stożka ściętego), tak że w przekroju wzdłuż osi symetrii przypomina ona rufę łódki. Powoduje to, że pocisk staje się dłuższy. Kształt ten zmniejsza wpływ oporów aerodynamicznych na pocisk, co pozwala mu utrzymać prędkość i zachować tor lotu (nawet gdy wystąpi wiatr z kierunku poprzecznego). Pociski BT używane są do strzelania na duże odległości, podczas gdy pociski z płaską częścią tylną są bardziej odpowiednie do stosowania na krótkich odległościach.

CRISAT (ang. Collaborative Research Into Small Arms Technology) – program badawczy mający na celu przyjęcie do uzbrojenia nowych modeli małokalibrowej amunicji strzeleckiej, o zastosowaniu przewidzianym w broni do obrony osobistej określanej jako PDW.

FBI (ang. Federal Bureau of Investigation) – Federalne Biuro Śledcze w USA.

FMJHP (ang. Full Metal Jacket Hollow Point) – pocisk pełnopłaszczowy z wgłębieniem wierzchołkowym w rdzeniu.

FNSP (ang. Flat Nose Soft Point) – pocisk półpłaszczowy z miękkim, stożkowym płasko zakończonym wierzchołkiem.

HPT (ang. High Pressure Test) – amunicja o podwyższonym ciśnieniu maksymalnym, przeznaczona do badania elementów broni (wytrzymałości lufy, zespołów ryglowych).

LRN (ang. Lead Round Nose) – pocisk całkowicie ołowiany z zaokrąglonym wierzchołkiem.

LSWC (ang. Lead Semi Wad Cutter) – pocisk ołowiany o kształcie walcowo-stożkowym bez płaszcza, ze spłaszczonym wierzchołkiem, posiada wgłębienie w części dennej, przeznaczony głównie do strzelania do tarcz [3].

LWC (ang. Lead Wad Cutter) – pocisk ołowiany o kształcie walcowym bez płaszcza, z prawie płaskim wierzchołkiem, posiada wgłębienie w części dennej, przeznaczony głównie do strzelania do tarcz.

PDW (ang. Personal Defence Weapon) – nowe rodzaje broni do obrony osobistej, przeznaczone głównie dla artylerzystów, saperów, lotników, członków pojazdów zmechanizowanych, np. pistolety P90, 5,7 mm, 4,6 mm H&K.

RNSP (ang. Round Nose Soft Point) – pocisk półpłaszczowy z zaokrąglonym miękkim wierzchołkiem.

RSP (ang. Relativ Stopping Power) – względna moc zatrzymująca pocisku.

RII (ang. Relative Incapacitation Index) – względny współczynnik obezwładniania.

Stp. (ang. Stopping power) – moc zatrzymania.

SJFN (ang. Semi Jacketed Flat Nose) – pocisk półpłaszczowy z płaskim stożkowym wierzchołkiem.

SJHP (ang. Semi Jacketed Hollow Point) – pocisk półpłaszczowy z wgłębieniem wierzchołkowym.

SJSP (ang. Semi Jacketed Soft Point) – pocisk półpłaszczowy z miękkim (najczęściej ołowianym) wierzchołkiem.

TC (ang. Truncated Cone) – dodatkowy symbol oznaczający pocisk ze stożkowym, ściętym (płaskim) wierzchołkiem; stosowany jest w połączeniu z innym oznaczeniem, np. FMJ TC.

SRTA (ang. Short Range Training Ammunition) – amunicja treningowa o małym zasięgu, np. fragmentująca.

SHORTAC (ang. Short Range Tactical Ammunition) – amunicja taktyczna o małym zasięgu, np. fragmentująca.

W Europie podając nazwę naboju, podajemy kaliber broni i długość łuski w milimetrach [$1\text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ m}$], np. 9x19 mm, lub nieraz kaliber i nazwisko konstruktora naboju, np. 9 mm Luger. W USA w tym samym celu podaje się wielkość kalibru w dziesiątych częściach cala, np. .357 (tab. 1). Jednostką masy pocisku w Europie jest $1\text{ g} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ kg}$, a w USA 1 gr [grain] = 0,0648 g.

Tabela 1. Zestawienie popularniejszych kalibrów broni strzeleckiej [2]

Kaliber, cal	Kaliber, mm
.223	5,56
.30	7,62
.314	8
.357	9
.45	11,43
.50	12,7

Literatura

- [1] Hogg I.V.: *Amunicja strzelecka, artyleryjska i granaty*, Bellona, Warszawa 2001.
- [2] Radziszewski L.: *Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy strzelaniu do wybranych celów*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2007.
- [3] Wiśniewski A., Żurowski W.: *Amunicja i pancerze*, Radom 2002.

3

BUDOWA WYBRANYCH NABOJÓW

Typowy nabój strzelecki zbudowany jest z następujących elementów: pocisku, ładunku prochowego miotającego, spłonki z materiałem inicjującym oraz łuski [3]. Łuska jest częścią, która hermetycznie scala pozostałe elementy naboju oraz uszczelnia podczas strzału przewód lufy. Po wprowadzeniu naboju do komory nabojoyej spłonka inicjuje proces palenia się ładunku prochowego, co powoduje wzrost ciśnienia gazów prochowych, a następnie rozscalenie naboju i wprowadzenie pocisku w ruch. Należy zaznaczyć, że znane są również konstrukcje nabojów bezłuskowych, np. 4,7x21 OH, oraz z łuskami spalającymi podczas strzału. Parametrem konstrukcyjnym charakterystycznym zarówno dla pocisku, jak i lufy broni jest kaliber. W lufach, w których wykonane zostały bruzdy jest to średnica przewodu lufy mierzona pomiędzy polami bruzd. Średnica zewnętrzna części walcowej pocisku jest większa od średnicy pomiędzy polami przewodu lufy, ale mniejsza od średnicy pomiędzy bruzdami. Odpowiednio dobrane średnice pocisku i lufy zapewniają uszczelnienie przewodu lufy, wprowadzenie pocisku w ruch obrotowy oraz ograniczają wartość sił oporu (oraz strat energii) przy przetłaczaniu pocisku. W lufach o gładkich przewodach kaliber jest równy jej średnicy wewnętrznej.

Ładunek miotający zaelaborowany w łusce wykonywany jest z prochu nitrocelulozowego lub nitroglicerynowego. Proch ten uformowany jest w postaci tzw. ziaren, mających kształt np. płytek, rurek, sześciątów. Parametrami charakteryzującymi proch są:

- ciepło spalania – zależy od składu chemicznego, zawiera się w przedziale 2,5–5,5 MJ/kg,
- temperatura spalania – zależy od rodzaju prochu, zawiera się w przedziale 2400–3800 K,
- prędkość spalania – zależy od wielu czynników, np. sposobu wykonania i kształtu ziaren.

Wielkość oraz zmiana w funkcji czasu powierzchni spalania ziaren (degresywne, progresywne, neutralne), jak również grubość warstwy palnej też mają wpływ na rozkład ciśnień gazów prochowych [24].

W nabojach małokalibrowych spalanie się ładunku prochowego inicjowane jest płomieniem powstającym w spłonce zapalającej, w którą uderza iglica. Ruch iglicy zatrzymywany jest na powierzchni oporowej tzw. kowadełku. Kowadełko to może być elementem konstrukcyjnym w dnie łuski (występują wtedy jeszcze kanaliki ogniowe)

lub może być wbudowane bezpośrednio w spłonce. Spłonki te wykonuje się w postaci cienkościennych miseczek metalowych, które są wypełnione masą inicjującą, np. piorunianem rtęci, trójnitrerezocynianem ołowiu, azydkiem ołowiu, i hermetycznie zamknięte folią. W zależności od zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego kowadełko rozróżnia się spłonki typu Berdan oraz Boxer. W tych ostatnich kowadełko wbudowane jest wewnątrz spłonki, a w dnie łuski występuje wtedy centralny kanał ogniowy.

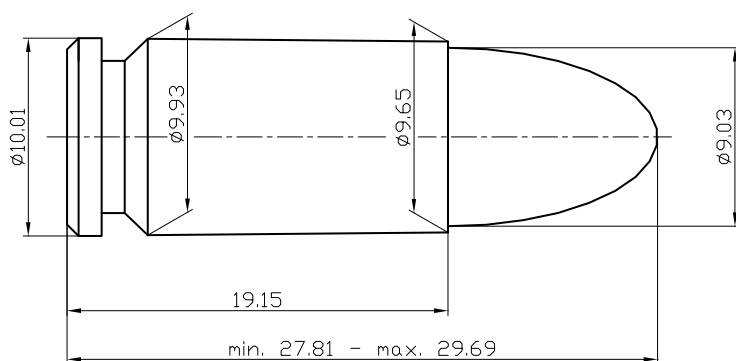
W klasycznym pocisku strzeleckim można wyróżnić części: głowicową, prowadzącą oraz denną [4]. Zależnie od prędkości wylotowej pocisku i jego przeznaczenia każda z tych części może być inaczej ukształtowana, co zostało omówione w dalszych rozdziałach pracy. Pociski o prędkości wylotowej bliskiej prędkości dźwięku (pociski pistoletowe) ze względu na stosunkowo małe siły oporu aerodynamicznego oraz małą donośność mają najczęściej krótkie i łagodnie zaokrąglone części głowicowe. Pociski o prędkości wylotowej naddźwiękowej mają ostrołukową, o stosunkowo dużym promieniu część głowicową. Część prowadząca pocisku podczas przemieszczania się w lufie z bruzdami ulega odkształceniom plastycznym [11]. Na jej powierzchni widoczne są odciski śladów bruzd. Proces ten może spowodować uszkodzenie pocisku, dlatego wymiary oraz zastosowane materiały muszą być dobrane szczególnie starannie. Deformacje te ułatwiają również identyfikację broni, z której został oddany strzał. Część denną w pociskach pistoletowych w znacznie mniejszym stopniu wpływa na tor balistyczny niż w pociskach pośrednich lub karabinowych. W pociskach o prędkości wylotowej naddźwiękowej część denną ma kształt stożka ściętego z zaokrąglonymi krawędziami, co ma na celu zmniejszenie sił oporu aerodynamicznego.

3.1. Naboje pistoletowe

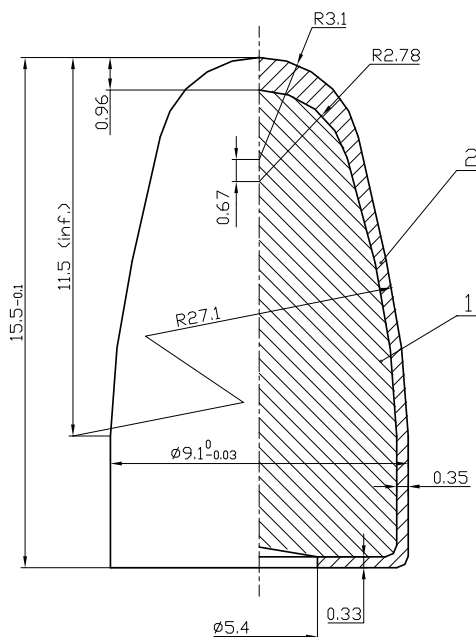
Nabojem standardowym w grupie amunicji stosowanej do samopowtarzalnej i samoczynnej broni krótkiej jest nabój 9x19 mm Parabellum. Aby zrozumieć, jak doszło do ustanowienia tego standardu oraz co daje indywidualnemu użytkownikowi broni przyjęcie modelu sprawdzonego i powszechnego zamiast rozwiązań najnowszych lub ekstremalnych, prześledźmy krótko historię tego naboju [5].

W roku 1893 Hugo Borchardt skonstruował pierwszy pistolet automatyczny z ryglowanym podczas strzału przewodem lufy, zasilany z magazynka pudełkowego, i specjalnie do niego przeznaczony nabój. Konstrukcja tego naboju różniła się znacznie od konstrukcji naboju do broni krótkiej stosowanych pod koniec XIX wieku, scalanych najczęściej w łuskach cylindrycznych z wystającą kryzą. Pocisk do pistoletu Borcharda o średnicy 7,8 mm i masie 5,5 g osadzano w zwężonej szyjce mosiężnej

łuski butelkowego kształtu bez wystającej kryzy, zamiast której równoległe do krawędzi podstawy na całym obwodzie nacinano rowek. Georg Luger pod koniec XIX wieku udoskonalił konstrukcję pistoletu Borchardta, uzyskując broń poręczną i celną, lecz o skomplikowanej budowie. Pistolet Lugera został przyjęty w 1901 roku na wyposażenie przez armię szwajcarską (pistolet 7,65 mm model 1900) jako pierwszy w historii pistolet automatyczny. Luger, udoskonalając pistolet Borchardta, nie zastosował oryginalnego naboju. Zaprojektował pocisk o takiej samej średnicy, jednak nieco wydłużony, dzięki czemu jego masa w porównaniu z nabojem Borchardta wzrosła o 0,5 g. Zachował butelkowy kształt łuski zapewniający jej dużą pojemność, zmienił jej wymiary, skracając do 21,6 mm. W efekcie powstał nabój 7,65x22 mm Luger o trochę mniejszych wymiarach, lecz o zbliżonych do naboju Borchardta charakterystykach balistycznych. Pocisk o masie 6 g i prędkości ponad 370 m/s uzyskiwał energię 416 J. Nabój ten po raz pierwszy został zastosowany w wersji pistoletu Lugera z 1899 roku. W latach 1902–1904 Luger skonstruował nabój kalibru 9 mm, zrezygnował z butelkowego kształtu łuski i skrócił ją do 19,3 mm, zachował średnicę zewnętrzną części dennej. Pocisk o średnicy 9,02 mm i o ściętym wierzchołku miał kształt walcowo-stożkowy. Nabój został przyjęty wraz z przekonstruowanym pistoletem Parabellum do uzbrojenia niemieckiej marynarki wojennej i oddziałów karabinów maszynowych wojsk lądowych w 1904 roku, a w 1908 do pozostałych formacji. Ze względu na kłopoty z zapewnieniem niezawodnego zasilania broni w 1915 roku zmieniono pocisk walcowo-stożkowy ze ściętym wierzchołkiem na pocisk z owalną częścią głowicową, co przedstawiono na rysunkach 3.1 i 3.2. Nabój o takim kształcie jest stosowany do dzisiaj w wielu państwach. Zmieniała się jedynie nazwa naboju. W Europie stosowane jest oznaczenie 9 mm Parabellum od nazwy broni, dla której został skonstruowany, lub 9x19 mm. W Stanach Zjednoczonych upowszechniła się nazwa 9 mm Luger.



Rys. 3.1. Model naboju pistoletowego 9x19 mm Parabellum (9 mm Luger) [15]

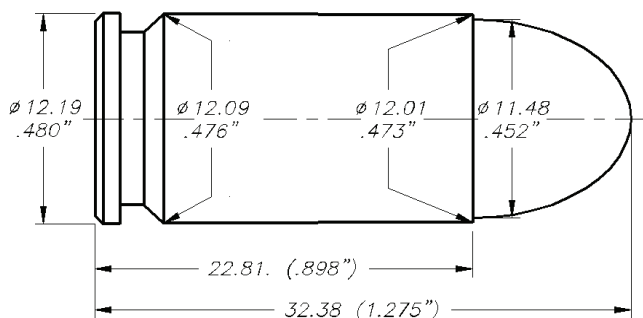


Rys. 3.2. Model pocisku zwykłego do naboju 9x19 mm: 1 – rdzeń ołowiany, 2 – płaszcz

Główną przyczyną ciągłego wzrostu zainteresowania tym nabojem były zalety użytkowe pistoletu Parabellum. Powstały również inne bardzo popularne konstrukcje pistoletów na nabój 9x19 mm, np. belgijski Browning Mod. 35 HP stosowany w czasie II wojny światowej, fiński pistolet Lahti, polski pistolet wz. 35 VIS Wilniewczyca i Skrzypińskiego, Walther P 38. Konkurentami naboju 9 mm Parabellum, obok licznych naboju rewolwerowych, były początkowo naboje pistoletowe wywodzące się od naboju Borchardta oraz naboje konstrukcji J.M. Browninga, które z powodu jego współpracy z belgijską firmą FN (fran. Fabrique Nationale d'Arms de Guerre) były obecne w Europie. Poważną konkurencję dla naboju 9x19 mm stanowił nabój 9x23 mm Bayard z 1901 roku o podobnych właściwościach balistycznych, ale posiadający łuskę o większej pojemności. O niepowodzeniu tego naboju w rywalizacji z nabojem 9 mm Lugerą przesądziły nie najlepsze właściwości użytkowe pistoletu. W Hiszpanii jednak nabój 9x23 mm Bayard został przyjęty jako standardowy nabój wojskowy i był długo stosowany. Podobny pod względem konstrukcji i parametrów balistycznych nabój 9x23 mm Steyr, zaprojektowany do pistoletu automatycznego Steyr-Hahn wz. 1911, nie zyskał większej popularności poza Austrią i Rumunią. Włoski nabój 9 mm Glisenti i niemiecki 9 mm Mauser mimo niewątpliwych zalet również nie zdobyły większej popularności, ponieważ pojawiły się za późno.

W przypadku nabojów Browninga, zwłaszcza jeden z nich 7,65x17 mm SR (.32 ACP), zastosowany w pierwszym udanym pistolecie automatycznym Browninga, zasługuje na szczególną uwagę. Stał się on powszechnie stosowanym nabojem policyjnym i cywilnym przeznaczonym do obrony osobistej. Inny nabój Browninga – 9 mm Browning Short (.38 ACP), zdobył dużą popularność jako nabój policyjny. Mimo tej samej średnicy pocisku był to nabój należący do innej kategorii.

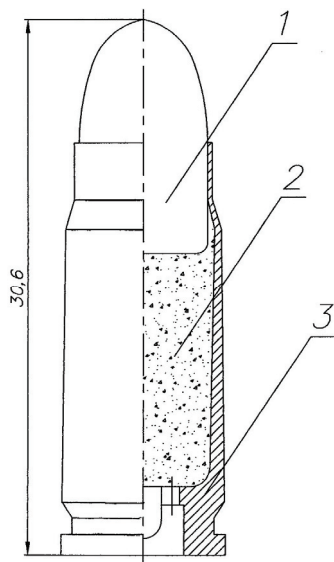
Nabój .38 Colt Automatic, zaprojektowany w 1900 roku jako nabój wojskowy, pomimo łuski dłuższej o 4 mm posiadał mniejszą prędkość i energię początkową niż pocisk do naboju 9x19 mm Parabellum. W roku 1929 na jego podstawie skonstruowano nabój .38 Super Automatic, który zachowując wszystkie wymiary oryginału, miał zwiększony ładunek prochowy nadający pociskowi energię początkową o około 30% większą niż w przypadku naboju 9 mm Luger. Nabój ten jednak pojawił się w czasie, gdy pozycja naboju 9 mm Parabellum była już w Europie ugruntowana, a na rynku amerykańskim od 1911 roku niepodzielnie panował jako podstawowy nabój wojskowy .45 ACP – 11,43x23 mm przedstawiony na rysunku 3.3.



Rys. 3.3. Model naboju .45 ACP (Automatic Colt Pistol) [48]

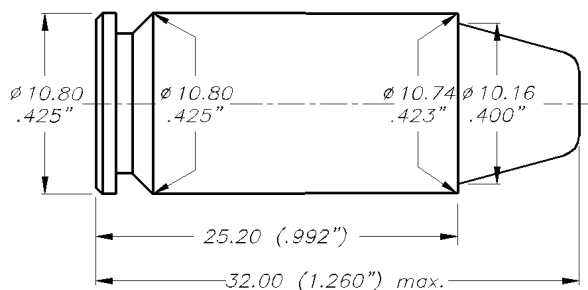
Nabój pistoletowy .45 ACP do roku 1985 był standardowym nabojem w armii amerykańskiej, z pociskiem płaszczykowym zwykłym M1911 oraz pociskiem smugowym M26. W policji używane są pociski półpłaszczowe lub bez płaszcza, często z wgłębieniem na ołowianym wierzchołku lub ze spłaszczonym wierzchołkiem. Masa naboju wynosi 21,4 g, masa ładunku prochowego 0,33 g, masa pocisku zwykłego 15,16 g, masa pocisku smugowego 13,48 g. Długość naboju wynosi 32,4 mm, długość pocisku 16,8 mm, długość łuski 22,8 mm. Ciśnienie maksymalne zawiera się w przedziale od 105 MPa do 112 MPa. Prędkość początkowa pocisku wystrzelonego z lufy o długości 127,6 mm wynosi 250 m/s. Energia kinetyczna początkowa pocisku zwykłego wynosi 474 J. W roku 1951 do uzbrojenia armii rosyjskiej wprowadzono wraz z pistoletem

nabój 9x18 mm. Początkowo produkowano go z pociskiem z rdzeniem stalowym, a później z rdzeniem ołowianym. Masa naboju wynosi 10 g, masa pocisku 6,1 g, masa ładunku prochowego 0,25 g. Długość naboju wynosi 25,1 mm, długość pocisku 11,15 mm. Ciśnienie maksymalne podczas strzału osiąga wartość 118 MPa, a prędkość początkowa pocisku wyrzelnego z lufy o długości 93 mm wynosi 315 m/s. Popularny był też nabój kalibru 7,62x25 mm, którego model jest pokazany na rysunku 3.4.



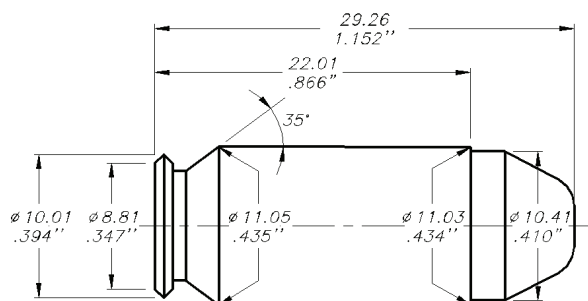
Rys. 3.4. Model naboju 7,62x25 mm: 1 – pocisk, 2 – materiał miotający, 3 – łuska

W roku 1983 w USA zaprezentowano nabój 10 mm Auto (rys. 3.5). Energia kinetyczna pocisku miała być znacznie większa niż energia pocisków do 9 mm Parabellum lub .38 Super Automatic. Pierwszy pocisk do tego naboju miał masę 12,96 g i energię kinetyczną 796 J. Ponieważ parametry odrzutu przy strzelaniu tym nabojem były zbyt duże, w roku 1989 zaproponowano modyfikację polegającą na zmniejszeniu masy pocisku do 11,66 g i prędkości początkowej do 290 m/s. Nabój ten o energii kinetycznej wylotowej 490 J nazwano 10 mm FBI i przyjęto jako standardowy nabój amerykańskiego Federalnego Biura Śledczego (ang. Federal Bureau of Investigation). Nabój 10 mm Auto produkowany jest również w Europie. W zależności od producenta energia wylotowa pocisku wynosi od 550 J do 916 J, a jego masa wynosi od 10 g do 11,66 g.



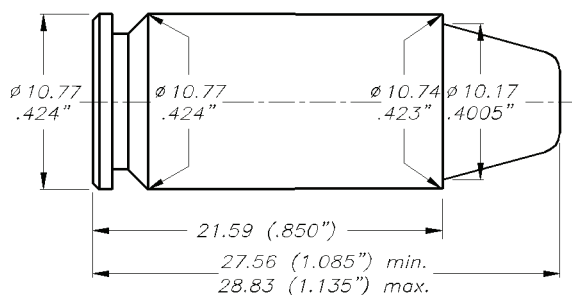
Rys. 3.5. Model naboju 10 mm Auto [48]

W roku 1987 w USA przedstawiono nabój .41 Action Express – 10,41x22 mm (rys. 3.6). Jego konstrukcja stanowi wynik poszukiwań amunicji o większej energii i kalibrze niż 9 mm Parabellum, którą można by stosować w istniejących pistoletach po wprowadzeniu tylko niewielkich zmian. Wymiary dna łuski są w tym naboju takie same jak w 9 mm Parabellum, natomiast korpus łuski powiększono tak, aby osadzić w nim pocisk kalibru 10,41 mm (.41 cala). Tak więc od strony dna łuski mamy nabój kalibru 9 mm, a od strony pocisku 10 mm. Dostosowanie istniejących pistoletów kalibru 9 mm do kalibru 10,41 mm polega na dostarczeniu użytkownikowi lufy kalibru 10,41 mm, magazynka i sprężyny powrotnej. Energia kinetyczna wylotowa pocisku o masie 12,96 g wynosi 623 J, a pocisku o masie 11,02 g wynosi 825 J.



Rys. 3.6. Model naboju .41 Action Express (10,41x22 mm) [48]

W roku 1990 w USA przedstawiono nabój .40 Smith&Wesson (S&W) – 10,11x21,60 (rys. 3.7). Podstawowa różnica pomiędzy tym nabojem a 10 mm Auto polega na tym, że ma on łuskę krótszą niż 10 mm Auto. Dzięki temu łatwiej jest do niego przystosować pistolety zaprojektowane do naboju 9 mm Parabellum. Energia kinetyczna pocisku o masie 11,66 g zawiera się w przedziale od 453 J do 497 J. Pociski lżejsze o masie 10,04 g uzyskują energię kinetyczną do 630 J. Nabój .40 S&W przyjęto do uzbrojenia w amerykańskich oddziałach służb bezpieczeństwa.



Rys. 3.7. Model naboju .40 Smith&Wesson (10,11x22 mm) [48]

Przed II wojną światową pistolety i pistolety maszynowe wykorzystujące nabój 9 mm Parabellum stosowano również w Polsce, Czechosłowacji, Belgii, Finlandii, Szwecji, Szwajcarii. Pozycja tego naboju umocniła się również dzięki temu, że został przyjęty jako standardowy nabój paktu wojskowego NATO. Stosowanie nazwy nabój 9 mm NATO jest poprawne jedynie w odniesieniu do standardowego naboju wojskowego z pociskiem pełnopłaszczowym. Parametry techniczne naboju 9 mm NATO są następujące: pocisk pełnopłaszczowy o masie 7,45 g, prędkość początkowa 396 m/s, energia kinetyczna początkowa 584 J [4]. W roku 1985 został przyjęty w USA jako standardowy nabój pistoletowy (oznaczenie – M 882) razem z pistoletem M9, zastępując dotychczasowy nabój .45 ACP i pistolet Colt. Nabój M 882 posiada pocisk pełnopłaszczowy o masie 8,03 g, który uzyskuje prędkość początkową 375 m/s i energię 565 J.

Popularność naboju 9 mm Parabellum wynika m.in. z masowej produkcji zarówno amunicji, jak i przystosowanej do niej broni oraz wielkiej liczby wariantów stosowanych ładunków prochowych i pocisków umożliwiających optymalny dobór naboju dla każdego zadania i każdego użytkownika. W ciągu ponad 100-letniej obecności na rynku amunicji nabój 9 mm Parabellum produkowany był prawie ze wszystkimi możliwymi do skonstruowania pociskami, nie wyłączając pocisków z tworzyw sztucznych. Najpopularniejszy jest pocisk pełnopłaszczowy. Występują też pociski przeciwpancerne, przeciwpancerno-zapalające, smugowe, pozoracyjne, o ograniczonym zasięgu, z subpociskami, ekspandujące, THV, EMB i wiele innych. Zmiany konstrukcyjne w budowie naboju 9 mm Parabellum wynikały ze względów ekonomicznych lub z powodu nowych wymagań odnośnie balistyki końcowej pocisku. W pierwszych latach II wojny światowej, aby zmniejszyć zużycie ołowiu, w Niemczech skonstruowano dwa nowe pociski. Pierwszy z nich posiadał rdzeń stalowy, natomiast w drugim rdzeń wykonany był ze spiekanych proszków żelaza. Pomiędzy rdzeniem a płaszczem występowała tzw. koszulka

ołowiana. Takie rozwiązanie konstrukcyjne (płaszcz–koszulka–rdzeń) stosowane jest również w pociskach współcześnie produkowanych. W czasie II wojny światowej Niemcy skonstruowali również pociski poddźwiękowe do broni z tłumikiem. Zmiany konstrukcyjne wynikające z konieczności modyfikacji balistyki końcowej pocisku przeanalizujemy na przykładzie pocisków przeciwpancernych i pocisków z ograniczonym zasięgiem działania. Wzrastające wymagania odnośnie grubości przebijanego pancerza spowodowały pojawienie się pocisków o zupełnie nowej konstrukcji, takich jak: francuski THV w 1970 roku, angielski CBAP, austriacki EMB i szwajcarski SWISS P SeCa.

Naboje 9 mm Parabellum występują z łuskami mosiężnymi, stalowymi i aluminiowymi. W zależności od przeznaczenia pocisku i od producenta masa pocisków wynosi od 2,20 g do 9,25 g, a masa ładunku prochowego od 0,24 g do 0,42 g. Prędkość początkowa pocisku zawiera się w przedziale od 305 m/s do 740 m/s i dodatkowo zależy od długości lufy, którą zastosujemy. Pod względem budowy rozróżnia się pociski grzybkujące, niegrzybkujące, ulegające fragmentacji [35]. Pociski niegrzybkujące w pełnym płaszczu metalowym cechują się dużą głębokością penetracji.

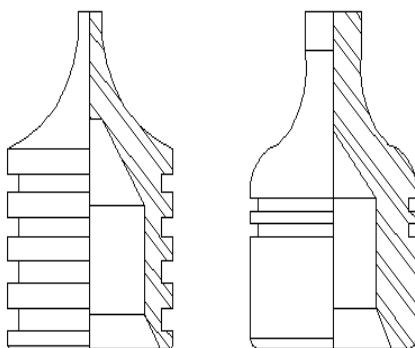
W pociskach przeciwpancernych znajduje się rdzeń wykonany ze stali wolframowej lub tytanowej mający za zadanie przebicie pancerza. Występują również pociski przeciwpancerno-zapalające, w których rdzeń przeciwpancerny otoczony został środkiem zapalającym. Często jest nim biały fosfor. Pociski ekspandujące: półpłaszczowe z wgłębieniem wierzchołkowym, półpłaszczowe z miękkim wierzchołkiem oraz konstrukcje szczególne w procesie grzybkowania zwiększają znacznie swoją średnicę, co powoduje, że osiągają wysoką zdolność do obezwładniania. Pocisk Silvertip z roku 1980 firmy Winchester posiada płaszcz aluminiowy z wewnętrznymi nacięciami. W pociskach typu Hydra-Shock, np. Starfire, występuje w wierzchołku rozległe wgłębienie z odpowiednio ukształtowaną powierzchnią wewnętrzną, która ma zapewnić kontrolowaną ekspansję oraz zabezpieczyć przed fragmentacją [24]. Rozwiązanie to pozwala uzyskać po zderzeniu z przeszkodą nawet dwukrotne powiększenie średnicy pocisku. W pociskach podwójnego działania gęsty rdzeń ma za zadanie przebić się przez pancerz, a łatwo grzybkujący płaszcz ma zadać obrażenia miękkim celom nieopancerzonym. W katalogach amunicji występują naboje z oznaczeniem +P lub +P+, co oznacza, że wskutek większego ciśnienia gazów prochowych w lufie (ang. Pressure) mają one zwiększoną prędkość początkową. Ciśnienie dla standardowego naboju 9 mm Parabellum wynosi 262 MPa, a dla naboju +P+ 294 MPa.

Z przeprowadzonej dotychczas analizy wynika, że obecnie prace nad budową nabojów pistoletowych zmierzają do rozwiązania trzech problemów [8, 13]:

1. Zwiększenia zdolności obezwładniającej pocisku przy rażeniu nieosłoniętego celu żywego.
2. Ograniczenia możliwości ranienia osób przypadkowych.
3. Zwiększenia zdolności przebicia lekkich pancerzy osobistych, zwłaszcza kamizelek kuloodpornych.

Rozwiązanie tych problemów w pewnym zakresie, można osiągnąć zmieniając budowę naboju i zwiększając prędkość początkową pocisku [22]. We Francji opracowano nową amunicję pod nazwą THV (franc. Tres Haute Vitesse), co oznacza „o bardzo dużej prędkości”. Opracowano ją przede wszystkim dla służb bezpieczeństwa. Nadaje się praktycznie do wszystkich współczesnych rewolwerów, pistoletów samopowtarzalnych i maszynowych [29]. Amunicja ta występuje w różnych kalibrach, np.: .32 ACP, 7,65 mm Auto, .38 Special, .357 Magnum, 9x19 mm Parabellum, .45 ACP.

W porównaniu z pociskami zwykłymi pociski THV wykonane są z miedzi i są równie celne, ale ich prędkość początkowa jest dwa razy większa. Dzięki temu mają bardzo dużą zdolność przebijania różnych przeszkód, np. karoserii samochodów, a po przebicciu zachowują jeszcze zdolność rażenia celów żywych. Duża prędkość początkowa pocisku THV wynika z jego budowy. Wewnętrzne wgłębienie, pokazane na rysunku 3.8, pozwala załadować większy ładunek prochowy niż w zwykłych nabojach, a jednocześnie powoduje zmniejszenie masy pocisku. Dzięki temu np. pociski do naboju 9x19 mm Parabellum osiągają prędkość początkową 620 m/s po wystrzeleniu z pistoletu samopowtarzalnego i 740 m/s z pistoletu maszynowego, co przedstawiono w tabeli 3.1.



Rys. 3.8. Model budowy pocisków typu THV o kalibrze 9 mm [22]

Tabela 3.1. Wybrane parametry pocisków typu THV [22]

Oznaczenie naboju	Długość lufy pistoletu, mm	Masa pocisku, g	Prędkość wylotowa, m/s	Grubość przebijanej płyty stalowej, mm	Głębokość penetracji*, mm
.32 ACP	127	1,25	780	2	100
.38 SPECIAL	152	2,9	720	3	130
.38 SPECIAL	102	2,9	690	–	–
.38 SPECIAL	51	2,9	610	–	–
.357 MAGNUM	152	2,9	780	3,5	140
.357 MAGNUM	102	2,9	740	–	–
.357 MAGNUM	76	2,9	675	–	–
.357 MAGNUM	63	2,9	640	–	–
9x19 Parabellum	114	2,9	620	–	–
9x19 Parabellum	225	2,9	740	3	120
.45 ACP	127	3,9	620	3	100

* penetracja w bloku plasteliny.

Energia początkowa pocisku wynosi około 600 J natomiast masa od 2,2 g do 3,12 g. Pociski THV mogą przebić płytę stalową o grubości 3 mm, ale tylko z niewielkiej odległości, ponieważ mała masa pocisku i jego kształt sprawia, że traci on energię kinetyczną na torze balistycznym równie szybko, jak ją uzyskał.

Ocenia się, że pociski THV tracą energię kinetyczną ruchu już po 30 m lotu. Jest to zjawisko korzystne w przypadku, gdy pociski te są używane w obecności osób postronnych, np. na pokładzie samolotu lub na ulicy. Jeśli pocisk nie trafi w cel, to niebezpieczeństwo zranienia innych osób jest niewielkie. Prawdopodobieństwo przebicia kadłuba i rozhermetyzowania samolotu oraz wystąpienia rykoszetów również jest nieduże.

Amunicję przeznaczoną dla służb specjalnych opracowała również angielska firma Conjay Arms [31]. Pociski przeciwpancerne tej firmy, oznaczone CBAP, do naboju 9x19 mm Parabellum i .357 Magnum, przebijają płyty stalowe o grubości odpowiednio 5 mm oraz 8,7 mm. Podaje się, że amunicja CBAP jest obecnie najskuteczniejszą pistoletową amunicją przeciwpancerną. Używanie tych pocisków, mających w odróżnieniu od pocisków francuskich pełne płaszcze i ostrołuki wypukłe, nie powoduje większego zużycia lufy niż przy stosowaniu

pocisków zwykłych o takiej samej prędkości początkowej. Zderzenie pocisku CBAP z pancerzem powoduje wyrywanie odłamków o dużej sile rażenia z jego tylnej powierzchni. Są one również zdolne do uszkodzenia silników samochodowych. Prędkość początkowa pocisków CBAP do naboju o kalibrze 9x19 mm Parabellum wynosi 510–520 m/s, a pocisków .357 Magnum 680–700 m/s. Do zwalczania celów żywych służą również pociski oznaczone CBX. Jeśli chodzi o wygląd, nie wyróżniają się żadną cechą szczególną, taką jak: wklęsły ostrołuk, szczeliny w płaszczu czy nieosłonięty ołów, ale działają poprzez grzybkowanie i wskutek tego w blokach plastelinowych powodują kanał postrzałowy o bardzo dużych rozmiarach. Grzybek utworzony z pocisku CBX o kalibrze 9 mm ma średnicę 16 mm, ale nie pęka [31]. Natomiast grzybek z pocisku CBX o kalibrze .357 Magnum ma średnicę jeszcze większą, pęka i tworzy krater o średnicy 75 mm i głębokości 80 mm.

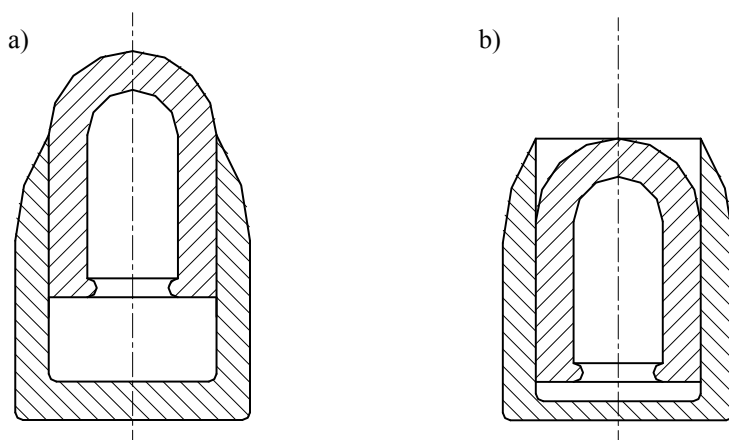
W Austrii wyprodukowano pociski o nazwie EMB (ang. Expansions Monoblock Bullet), przeznaczone do naboju bojowych używanych w broni krótkiej i pistoletach maszynowych. Łuska naboju wykonana jest z mosiądzu CuZn 30 (o zawartości 70% miedzi + 30% cynku). Pocisk EMB wykonany jest z mosiądzu CuZn 10 i nie posiada rdzenia ołowianego. Konstrukcja jego jest zbliżona do konstrukcji pocisków półpłaszczowych, zwłaszcza typu Hydra-Shock, co zapewnia szybkie i łatwe grzybkowanie w tkankach miękkich organizmu i jednocześnie duże zdolności penetracyjne po trafieniu w twardą przeszkodę [50]. Przy strzelaniu do przestępcy nie istnieje ryzyko, że pocisk po przebiciu jego ciała zrani osobę postronną [38]. Strzały testowe do żelatyny balistycznej potwierdzają, że pocisk zatrzymuje się na głębokości do 200 mm. Pocisk EMB umożliwia także przestrzelenie typowych barier, np. drzwi do mieszkania lub samochodu, szyb samochodowych, blach stalowych [51]. Po przebiciu przeszkody pocisk EMB traci wprawdzie zdolność do grzybkowania, ale jest w stanie razić ukrytego za nią bandytę, podczas gdy zwykły pocisk półpłaszczowy rozbija się o twardą przeszkodę. Zastosowanie stopu miedzi obniżyło masę pocisku i jednocześnie pozwoliło na zwiększenie prędkości wylotowej. Energia kinetyczna pocisku typu EMB do naboju 9 mm Parabellum jest większa o 30% w porównaniu ze standardowym pociskiem pełnopłaszczowym o tym kalibrze. Przy masie pocisku 5 g osiąga on wylotową energię kinetyczną 650 J (strzał oddany z balistycznej lufy NATO o długości 200 mm, prędkość v_{10} około 500 m/s). Energia odrzutu tego pocisku jest mniejsza o około 10–15% od energii odrzutu standardowego naboju 9 mm Parabellum. Wybrane parametry balistyczne niektórych naboju z pociskami typu EMB przedstawione są w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Wybrane parametry balistyczne nabojów z pociskami typu EMB [39]

Pocisk	9x19 mm Luger	9x19 mm Luger	.38 Special	.357 SIG	.357 Magnum	.40 S&W	10 mm Auto	.45 ACP
Masa pocisku, g	5	6	6	6	7	7	7	7,5
Prędkość* v_{10} , m/s	455	415	450	550	600	500	600	425
Ciśnienie, MPa	270	270						
Energia E_{10} , J	518	517	610	900	1260	875	1260	680

* długość lufy, z której oddawane są strzały wynosi 100 mm.

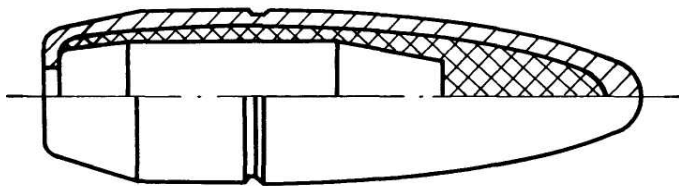
Nabojem o podobnym działaniu jest nabój 9 mm SWISS P Luger SeCa (ang. Security Cartridge). Nabój z pociskiem o masie 6,5 g wytwarza ciśnienie maksymalne 250 MPa. Pocisk ten uzyskuje prędkość początkową 395 m/s i energię kinetyczną 507 J. Pocisk tego naboju cechuje dobra zdolność penetracji twardych materiałów. Zachowuje się wtedy podobnie jak pocisk pełnopłaszczkowy. W miękkim podłożu istnieje możliwość sterowania stopniem deformacji i przekazywaniem energii. Pocisk jest dwuczęściowy (rys. 3.9), wykonano go ze stopu miedzi (CuZn 5) i nie zawiera ołowiu. Po zainicjowaniu strzału rdzeń przesuwa się w głąb pocisku pod wpływem działania siły bezwładności. W momencie zderzenia z celem następuje inicjacja deformacji na częściowo otwartym wierzchołku pocisku.



Rys. 3.9. Model budowy pocisku naboju 9 mm SWISS P Luger SeCa: a) pocisk przed wystrzałem, b) pocisk po wystrzale [52]

3.2. Naboje pośrednie

Na początku II wojny światowej w Niemczech skonstruowano nabój kalibru 7,92x33 mm o masie od 16,5 g do 16,8 g. Masa pocisku wynosiła od 7,9 g do 8,2 g, a masa ładunku prochowego od 1,57 g do 1,59 g. Energia kinetyczna początkowa wynosiła około 1960 J. Nabój ten o długości 47,8 mm posiadał pocisk o długości 25,6 mm i prędkości początkowej około 700 m/s. Pocisk zwykły z rdzeniem stalowym przebijał płytę stalową o grubości 3,7 mm z odległości 100 m. Był to pierwszy nabój pośredni [4].

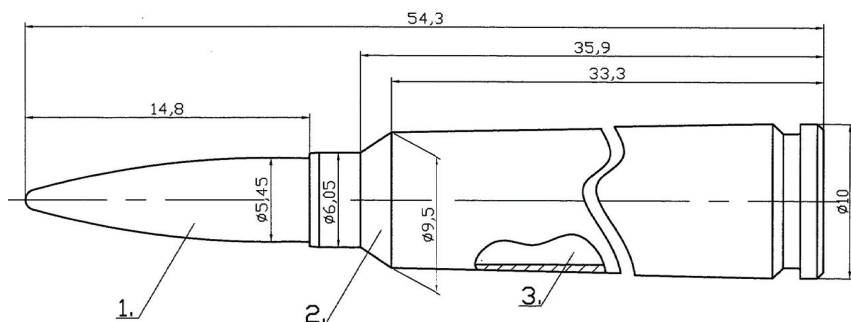


Rys. 3.10. Model pocisku pośredniego z rdzeniem stalowym do naboju 7,62x39 mm

W Rosji podczas II wojny światowej zaprojektowano nabój pośredni o kalibrze 7,62x39 mm i karabin samopowtarzalny SKS oraz AK 47 Kałasznikowa. Masa naboju wynosi 16,2 g, masa ładunku prochowego 1,6 g, długość naboju 55,8 mm, długość pocisku 26 mm, długość łuski 39 mm. Prędkość początkowa pocisku zwykłego wynosi 715 m/s (270–295 m/s dla pocisku poddźwiękowego) przy strzelaniu z karabinka AKM z lufą o długości 415 mm oraz 735 m/s przy strzelaniu z karabinu samopowtarzalnego Simonowa z lufą o długości 520 mm. Ciśnienie maksymalne gazów prochowych w komorze naboju wynosi 275 MPa. Nabój rosyjski może mieć pocisk zwykły z rdzeniem stalowym o masie 7,91 g, pocisk przeciwpancerno-zapalający o masie 7,77 g, pocisk smugowy o masie 7,45 g, pocisk zapalająco-wskaźnikowy o masie 6,61 g. W nabojach fińskich występują pociski zwykłe z rdzeniem ołowianym o masie 8,04 g. Pocisk przeciwpancerno-zapalający przebija płytę metalową o grubości 7 mm z odległości 200 m w 90%, hełm stalowy z odległości 1000 m w 80–90%. Pocisk zwykły z rdzeniem stalowym przebija hełm w 80–90% z odległości 900 m, a pocisk przeciwpancerno-zapalający z odległości 1100 m [4]. W naboju poddźwiękowym o masie 20,5 g zaelaborowany jest ładunek prochowy o masie 0,75 g. Ciśnienie maksymalne gazów prochowych w komorze naboju wynosi 160 MPa. Masa pocisku naboju poddźwiękowego wynosi 12,5 g, a jego długość 33 mm.

Na początku lat 70. XX wieku opracowano w Rosji nabój pośredni 5,45x39 mm przeznaczony do karabinów AK 74 i RPK 74 oraz ręcznego karabinu maszynowego

RPKS-74. Masa naboju wynosi 10,6 g, masa pocisku zwykłego (rosyjskiego) 3,41 g, masa ładunku prochowego 1,49 g, długość naboju 56,7 mm, długość łuski 39,5 mm. Łuska jest stalowa lakierowana, z szyjką i kryzą zwykłą (rys. 3.11). Ciśnienie maksymalne gazów prochowych w lufie wynosi 310 MPa. Pocisk ten wystrzelony z karabinu AK-74 uzyskuje prędkość początkową 900 m/s i energię kinetyczną początkową 1383 J. Oprócz pocisków zwykłych w naboju stosowane są pociski smugowe i przeciwpancerne. Płaszcz pocisku wykonany jest ze stali platerowanej stopem miedzi i cynku. Pomiedzy płaszczem a rdzeniem stalowym o długości około 15 mm znajduje się ołowiana koszulka. W górnej części koszulka ma zgrubienie o wielkości 3 mm. Nad jej zgrubieniem pozostawiono znaczną pustą przestrzeń (wierzchołkowa część płaszcza pozostaje pusta), dzięki czemu obniżono położenie środka ciężkości pocisku. Skok bruzd w lufie karabinu AK-74 wynosi 195 mm, co powoduje, że wystrzelony pocisk podczas lotu znajduje się na granicy stabilności (obliczony skok bruzd zapewniający stabilność wynosi około 120 mm). Pocisk przy uderzeniu w organizm żywy ulega odkształceniu, wykonuje ruch obrotowy wokół osi poprzecznej – „koziółkuje” i porusza się wewnątrz niego po linii krzywej, powodując ranę postrzałową o dużych rozmiarach, co pokazano na rysunku 4.9.



Rys. 3.11. Model naboju 5,45x39 mm

W 1957 roku do uzbrojenia armii USA wprowadzono karabin oznaczony M16 oraz nabój 5,56x45 mm M193, który jest wojskową wersją naboju .222 Remington [21]. W latach 60. XX wieku karabin ten był często używany podczas wojny w Wietnamie, a pod koniec tego dziesięciolecia wojska amerykańskie również w Europie zaczęły powszechnie stosować nabój 5,56x45 mm M193. Pocisk do tego naboju posiada dużą zdolność rażenia celów żywych, która uważana jest w Europie za nadmierną. Ostatecznie państwa NATO ustaliły, że nabój kalibru 5,56x45 mm będzie znormalizowanym nabojem państw Paktu Północnoatlantyckiego, ale nabojem podstawowym będzie belgijski nabój 5,56x45 mm SS109 za-

miast dotychczasowego amerykańskiego 5,56x45 mm M193. Belgijskie naboje 5,56x45 mm (SS109 z pociskiem zwykłym, P112 z pociskiem przeciwpancernym, L110 z pociskiem smugowym) zostały opracowane w połowie lat 70. jako alternatywa dla amerykańskiego naboju 5,56x45 mm M193 [44]. Pociski stosowane w tych nabojach są smuklejsze, dłuższe i cięższe od pocisku amerykańskiego M193, lecz powinny być wystrzeliwane z luf o krótszym skoku bruzd, co zapewnia im stabilizację lotu i większą zdolność przebicia. Rdzenie pocisków belgijskich składają się z dwóch części: stalowej i ołowianej. Stalowa część rdzenia znajdująca się pod wierzchołkiem pocisku działa jak penetrator pancerza.

Tabela 3.3. Wybrane naboje amerykańskie kalibru 5,56x45 mm [16]

Nabój	Masa naboju, g	Długość naboju, mm	Materiał miotający	Masa ładunku prochowego, g	Masa pocisku, g	Ciśnienie, MPa	Prędkość, m/s (4,6 m od wylotu z lufy)	Kolor wierzchołka pocisku
M193	11,79	57,40	WC 844 lub CMR 170	1,72 lub 1,85	3,63	358,53	991	
M196	11,47	57,40	WC 844, CMR 170	1,85 1,72	3,56	358,53	975	czerwony
M855 NATO	12,31	57,40	WC844	1,69	4,02	379,21	922*	zielony
M856 NATO	12,38	57,40	WC844	1,60	4,13	379,21	875*	pomarańczowy
M862 SRTA	7,00	51,56	WPR260		0,23	108,59	1379	
M995 AP	11,66	57,15	WCR845	1,78	3,37	346,46	1013*	czarny

* prędkość w odległości 24 m od wylotu z lufy.

Naboje amerykańskie 5,56x45 mm produkowane są w różnych odmianach (tab. 3.3), np.: M193, M196 (smugowy), M199 (treningowy), M200 (pozoracyjny), M855 NATO, M856 NATO (smugowy), M862 SRTA, M995 AP (przeciwpancerny), M996 (smugowy), Frangible (Dodice AA40 – fragmentujący). Wymiary nabo-
jów amerykańskich 5,56x45 mm wojskowych i ogólnego użytku (np.: policyjnych,

cywilnych, sportowych, dla służb porządkowych – oznaczenie .223 Remington) są identyczne [49]. Różnią się one jednak rozkładem ciśnień i prędkości w lufie, uzyskiwanych po zainicjowaniu zjawiska wystrzału. Wartości ciśnień i prędkości są większe dla naboju wojskowego niż dla naboju ogólnego użytku. Wymiary oraz budowa komory nabojowej i łuski dla naboju wojskowego są inne niż dla naboju .223 Remington. W szczególności w komorze nabojowej wojskowej ostatni stożek przejściowy jest dłuższy o 0,196 mm od analogicznego w komorze do naboju .223 Rem, występują także duże różnice zbieżności tych stożków. Strzał oddany nabojem wojskowym z komory przeznaczonej do naboju .223 Rem może spowodować wzrost ciśnienia gazów prochowych o 20%, co grozi uszkodzeniem broni i jest niebezpieczne dla strzelającego. Powoduje to, że nie należy oddawać strzału nabojem wojskowym z karabinu zaprojektowanego do naboju .223 Remington (mogą wystąpić problemy z ekstrakcją łuski oraz z automatyką broni) [55, 57].

Nabój wojskowy amerykański 5,56x45 mm M193 z pociskiem o masie 3,56 g (55 grains · 0,0648 g/grain) i długości 19,3 mm przeznaczony jest do użycia przeciwko celom żywym i obiektom nieopancerzonym z broni o lufie z bruzdami o skoku 305 mm (12 cali), np. karabin amerykański M16A1. Pocisk tego naboju jest pełnopłaszczowy. Masa naboju M193 wynosi 11,79 g, masa ładunku prochowego 1,72 g, długość naboju 57,4 mm, długość pocisku 19 mm, długość łuski 44,6 mm. Płaszcz pocisku wykonany jest z mosiądzu, a rdzeń jest lity i wykonany ze stopu ołowiu. Prędkość pocisku wystrzelonego z lufy o długości 510 mm w odległości 23,8 m od jej wylotu wynosi 965 m/s. Pocisk M193 powinien przebić wzorcową płytę stalową z odległości 366 m, a w 50% z odległości 457 m. Pomimo normalizacji naboje M193 różnią się pomiędzy sobą m.in. kształtem części tylnej pocisku, grubością płaszcza, sposobem i kształtem rowka służącego do osadzenia pocisku w łusce. Każdy z producentów stosuje nieco inne materiały i technologię [40]. Różne partie nabojów nawet od tego samego producenta też mogą się różnić.

Nabój wojskowy amerykański 5,56x45 mm M196 z pociskiem smugowym o masie 3,56 g przeznaczony jest do użycia na niedużych (do 450 m) odległościach. Wierzchołek pocisku malowany jest na czerwono. Skład chemiczny masy smugowej powoduje przyspieszone zużycie lufy karabinu. Dlatego zalecane jest stosowanie tych nabojów przemiennie z nabojem 5,56x45 mm M193, co wynika również z taktyki strzelania, ponieważ pociski smugowe mają małą zdolność rażenia i gorszą celność. Naboje 5,56x45 mm M193 i M196 nie są standardowymi nabojami NATO. Naboje te przeznaczone są do karabinu M16. Można nimi wprawdzie strzelać z karabinu M249, do którego przeznaczone są naboje 5,56x45 mm M855 i M856, ale celność ulegnie zmniejszeniu. Nabój wojskowy amerykański 5,56x45 mm M855

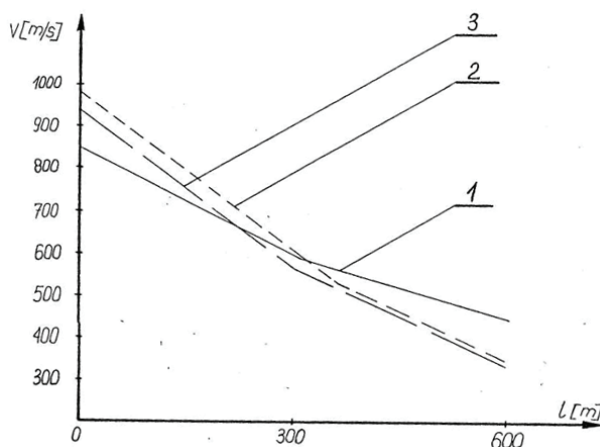
z pociskiem o masie 4 g przeznaczony jest do użycia przeciwko celom żywym, obiektom nieopancerzonym lub lekko opancerzonym. Wierchołek pocisku malowany jest na zielono. Nabój ten wystrzeliwany może być z broni o lufie z bruzdami o skoku 229 mm. Nabój M855 wzorowany jest na naboju belgijskim SS109 – pocisk posiada mosiężny płaszcz, rdzeń dzielony: ołowiany, a w części wierchołkowej stalowy utwardzony penetrator o masie 0,648 g i średnicy 4,62 mm, oraz małą pustkę powietrzną. Właściwa stabilizacja tych pocisków wymaga zachowania odpowiednich tolerancji wykonania i zmontowania rdzenia, a zwłaszcza współśrodkowego umocowania go w płaszczu. Zarówno kształt, tolerancja wykonania i montażu, jak i zastosowane materiały na poszczególne elementy mają duży wpływ na balistykę końcową (krzywizna toru, fragmentacja, głębokość penetracji). Należy zaznaczyć, że naboje amerykański M855 i belgijski SS109 nie są nabojami identycznymi. Nabój M855 musi spełniać dodatkowe wymagania, np. odnośnie do prędkości pocisku. Prędkość wylotowa pocisku z lufy o długości 510 mm w odległości 24 m od jej wylotu wynosi 914 m/s. Typowa prędkość w odległości 4,6 m od wylotu z lufy karabinu M16A2 wynosi 945 m/s (bruzdy o skoku 178 mm). Pocisk powinien przebić wzorcową płytę stalową z odległości co najmniej 570 m. W roku 1980 nabój ten został przyjęty przez NATO jako nabój standardowy i obecnie jest używany przez większość oddziałów liniowych armii USA. Pewną wadą nabojów M855, zdaniem taktyków wojskowych, są niezadowalające nieraz parametry balistyki końcowej, szczególnie w przypadku strzelania z karabinów z krótkimi lufami (o długości od 260 mm do 370 mm).

Należy zaznaczyć, że w armii amerykańskiej, szczególnie w jednostkach specjalnych, pojawiła się obecnie pewna tendencja do używania cięższych pocisków (oznaczonych: Mk 262 Mod 0, Mk 12 Mod 0 SPR, o masie aż do 6,5 g), aby poprawić ich balistykę końcową. Naboje 5,56x45 mm MK262 Mod 1 z pociskami o masie 5 g, np. Sierra Mach King, używane były w roku 2004 przez wojska USA w Afganistanie i Iraku. Trzeba pamiętać, że zmiana masy pocisku oraz zmiana jego parametrów geometrycznych powoduje zmianę toru balistycznego, pomimo zachowania tego samego kalibru. Tory balistyczne pocisków M193 i M855 są bardzo zbliżone (różnice do 130 mm) w odległościach do 300 m od wylotu z lufy i różnią się znacznie w odległościach większych od 400 m. Nabój amerykański 5,56x45 mm M856 (wzorowany na belgijskim L110) z pociskiem smugowym o masie 3,95 g ma duży zasięg do 800 m. Wierchołek pocisku malowany jest na pomarańczowo. Wystrzeliwany może być z broni o lufie z bruzdami o skoku 178 mm lub ewentualnie 203 mm, aby lot pocisku był stabilny. Płaszcz pocisku wykonywany jest ze stali pokrytej mosiądzem. Nabój 5,56x45 mm M862 SRTA z pociskiem o długości 23 mm jest nabojem

przeznaczonym do treningu zwłaszcza w zamkniętych obiektach i obszarach, w których nie można stosować pocisków o większej sile rażenia. Tor balistyczny tych pocisków pokrywa się z torami innych pocisków w odległościach do 25 m. Nabój amerykański 5,56x45 mm M955 AP z pociskiem przeciwpancernym jest nabojem wojskowym i w cywilnej sieci handlowej jego sprzedaż nie jest dozwolona. Rdzeń dzielony pocisku zbudowany jest z trzech części. Penetrator wykonany jest z węgla wolframu (materiał ten ma większą gęstość i jest bardziej wytrzymały niż ołów). Aluminiowa część rdzenia służy do prawidłowego osadzenia rdzenia ze spieków. Nabój ten przebiega płytę przeciwpancerną o grubości 12 mm i twardości 300 HB z odległości 100 m.

Na dnie łuski w niektórych nabojach wojskowych występuje symbol NATO (krzyż w kole). Oznacza to, że nabój ten wyprodukowany został zgodnie z wymaganiami NATO. Należy zaznaczyć, że wymagania NATO nie zawsze odpowiadają wymaganiom wojsk USA. Według przepisów amerykańskich np. żąda się, aby prędkość pocisku nie była mniejsza od pewnej ustalonej wartości minimalnej. Normy NATO nie podają, z jakiego materiału ma być wykonany płaszcz lub jaka ma być jego grubość. Ze względu na znaczne różnice konstrukcyjne (grubości i masy: płaszcz, stalowego penetratora, ołowianego rdzenia) i różne tolerancje wykonania pomiędzy różnymi producentami naboju, np. 5,56x45 mm SS109/M855, parametry balistyki końcowej pocisków, tj. fragmentacja, głębokość penetracji, zmiana trajektorii lotu również są zmienne.

Pociski naboju pośrednich mają prędkość początkową większą o około 15% od prędkości pocisków karabinowych, co pokazano na rysunku 3.12.



Rys. 3.12. Zależność prędkości pocisków w funkcji odległości od wylotu z lufy, przy skoku bruzd w lufie – 178 mm [3]: 1 – nabój karabinowy SS 77 kaliber 7,62x51 mm, 2 – nabój pośredni M 193 kaliber 5,56x45 mm, 3 – nabój pośredni SS 109 kaliber 5,56x45 mm

W odległości około 300 m od wylotu z lufy prędkości tych pocisków (rys. 3.12) są zbliżone. W dalszych odległościach od lufy prędkość pocisku o kalibrze 5,56x45 mm jest jednak mniejsza w porównaniu do prędkości pocisku o kalibrze 7,62x51 mm. Masa pocisków nabojów pośrednich jest mniejsza o około 60% w porównaniu z masą pocisków nabojów karabinowych. Energia kinetyczna początkowa pocisków nabojów pośrednich jest mniejsza o około 48% od energii początkowej pocisków nabojów karabinowych. Porównanie początkowych prędkości i energii kinetycznych niektórych pocisków kalibru 5,56x45 mm oraz 7,62x51 mm wystrzeliwanych z różnych wzorów broni przedstawia tabela 3.4.

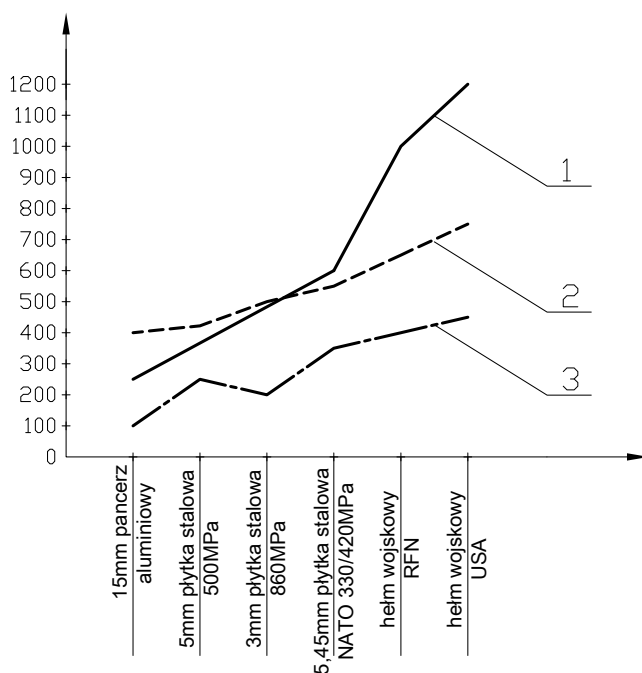
Tabela 3.4. Porównanie początkowych prędkości i energii kinetycznej pocisków do nabojów kalibru 5,45x39 mm, 5,56x45 mm, 7,62x51 mm

Oznaczenie naboju	Oznaczenie broni	Długość lufy, mm	Skok bruzd, mm	Prędkość początkowa, m/s	Energia początkowa, J
5,45x39 mm	AK – 74	437	195	900	1316
5,56x45 mm M 193	M 16	508	305	990–1000	1750–1780
5,56x45 mm M193	FNC	450	305	965	1660
5,56x45 mm M 193	MINIMI	490	305	965	1720
5,56x45 mm SS 109	FNL	450	178	915	1655
7,62x51 mm NATO	M 14	559	305	853	3420
7,62x51 mm NATO	FN FAL	533	305	840	3320
7,62x39 mm wz. 43	AKM	415	240	715	2020

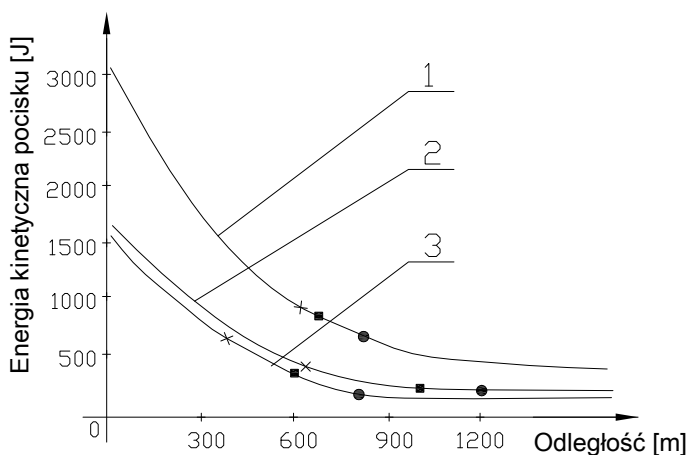
Najbardziej istotną praktyczną właściwością pocisku poza celnością jest zdolność do obezwładniania oraz przebijania przeszkód. Możemy porównać zdolności przebijania przeszkód przez pociski kalibru 5,56x45 mm i pociski o kalibrze 7,62x51 mm. Dane dotyczące przebijania określonych przeszkód (wzorcowej płyty stalowej NATO o grubości 3,45 mm oraz amerykańskich i niemieckich wojskowych hełmów stalowych) przez niektóre pociski zawiera tabela 3.5. Uzupełnieniem tych informacji są rysunki 3.13 i 3.14.

Tabela 3.5. Porównanie największych odległości, z których są przebijane wybrane przeszkody dla niektórych nabojów [3]

Nabój	5,56x45 mm M193	5,56x45 mm SS109	5,56x45 mm SS109	5,56x45 mm M855	7,62x51 mm NATO
Skok bruzd w lufie	305 mm	305 mm	178 mm	305 mm	305 mm
Wzorcowa płyta stalowa NATO	400 m	416 m	640 m	410 m	620 m
Niemiecki hełm stalowy	485 m	–	1150 m	600 m	640 m
Amerykański hełm stalowy	515 m	825 m	1300 m	820 m	800 m



Rys. 3.13. Przebijalność przeszkód przez wybrane pociski (przy skoku bruzd w lufie – 178 mm) [3]: 1 – nabój 5,56x45 mm SS 109, 2 – nabój 7,62x51 mm SS 77, 3 – nabój 5,56x45 mm M 193



Rys. 3.14. Wykres spadku energii kinetycznej pocisków wybranych naboji karabinowych z dodatkowym oznaczeniem przebijalności przeszkód: 3,45 mm płytki stalowej NATO, niemieckich i amerykańskich wojskowych hełmów stalowych [3]: 1 – nabój 7,62x51 mm SS 77, 2 – nabój 5,56x45 mm SS 109, 3 – nabój 5,56x45 mm M 193; x – przebicie płytki stalowej NATO, ■ – przebicie niemieckiego hełmu stalowego, ● – przebicie amerykańskiego hełmu stalowego

Na podstawie tabeli 3.5 oraz rysunków 3.13 i 3.14 można wyciągnąć następujące wnioski odnośnie wpływu cech konstrukcyjnych pocisku na przebijalność:

- duży wpływ na zdolność przebijania przeszkód ma skok bruzd w lufie, decydujący o prędkości obrotowej początkowej pocisku i mający wpływ na stabilizację jego lotu. Powyższe stwierdzenie potwierdzają przedstawione w tabeli wyniki przebijania przeszkód przez pocisk SS 109 wystrzelony z lufy z bruzdami o skoku 178 mm oraz 305 mm. Większą zdolność przebijania zapewnia lufa o mniejszym skoku bruzd równym 178 mm;
- dla zdolności przebijania przeszkód istotne znaczenie mają właściwości konstrukcyjne pocisku, jego kształt, parametry balistyczne i budowa rdzenia. Masa pocisku nie decyduje bezpośrednio o zdolności przebijania. Spośród badanych pocisków pocisk SS 109 miał masę 4,02 g i wykazywał największą zdolność do przebijania przeszkód. W rozpatrywanych przypadkach na zdolność przebijania wpływa nie tylko kaliber czy energia kinetyczna pocisku w momencie trafienia w przeszkodę. Pocisk SS 77 kaliber 7,62x51 mm przebija np. amerykański wojskowy hełm stalowy w zasięgu 800 m przy energii kinetycznej około 580 J, podczas gdy pocisk SS 109 kaliber 5,56x45 mm przebija ten hełm nawet z odległości około 1200–1300 m przy energii wyno-

szącej tylko 165 J. Z kolei pocisk SS 92 kaliber 5,56 mm przebija amerykański wojskowy hełm stalowy w zasięgu tylko 515 m przy energii około 380 J.

Główne zalety naboju 5,56x45 mm NATO to:

1. Zdolność pocisku w naboju SS 109 do penetracji i obezwładniania jest większa niż pocisku w naboju 7,62x51 mm NATO szczególnie przy odległościach do 300 m.
2. Mniejsza energia odrzutu naboju 5,56x45 mm pozwala na celne strzelanie szczególnie przy ogniu seryjnym.
3. Mniejsza masa naboju 5,56x45 mm (47% masy naboju 7,62x51 mm) pozwala żołnierzom zabrać więcej amunicji i innego wyposażenia.
4. Przy normalnych odległościach prowadzenia działań bojowych zdolności obezwładniające pocisków 5,56x45 mm są większe niż pocisków 7,62x51 mm.

Pocisk SS109 jest w stanie przebić amerykański hełm stalowy z dwóch stron z odległości 600 m, a pocisk M80 nie jest w stanie tego dokonać. Należy jednak pamiętać, że w pocisku SS 109/M855 znajduje się stalowy rdzeń, a w pocisku M80 relatywnie miękki rdzeń ołowiany przeznaczony do rażenia celów żywych. Pocisk przeciwpancerny 7,62x51 mm bez trudu pokonuje pocisk SS 109/M855 we wszystkich testach penetracyjnych. W szczególności pocisk SS 109 nie przebija nawet jednego bloczka budowlanego, a pocisk 7,62x51 mm przebija dwa takie bloczki.

3.3. Naboje do obrony osobistej

Projekty badawcze nazwane CRISAT (ang. Collaborative Research Into Small Arms Technology), mające na celu opracowanie oraz przyjęcie do uzbrojenia nowych modeli broni i małokalibrowej amunicji strzeleckiej, prowadzone są od końca XX wieku [23]. Zastosowanie tej amunicji przewidziane jest w broni do obrony osobistej, określanej jako PDW (ang. Personal Defence Weapon). Taka broń o nieznacznych rozmiarach, pozwalająca oddać skuteczny strzał na odległość od 100 m do 200 m, jest głównie stosowana przez członków załóg wozów bojowych, lotników, saperów, funkcjonariuszy sił porządkowych. Opracowywana nowa amunicja ma konstrukcję zbliżoną od amunicji pośredniej [33]. Pociski w tych nabojach, o budowie zbliżonej do pocisków przeciwpancernych, mają płaski tor lotu, szybko tracą energię po trafieniu w organizm żywy i mogą przebić kamizelkę kuloodporną. Jednymi z bardziej znanych naboju w tej grupie amunicji są naboje belgijskie kalibru 5,7x28 mm (tab. 3.6), przeznaczone do strzelania z pistoletu Five-seveN lub pistoletu maszynowego FN P90.

Tabela 3.6. Niektóre parametry nabojów belgijskich kalibru 5,7x28 mm

Oznaczenie naboju	SS190	SS191	SS192	Sb193	SS195 LF	SS196 SR	SS197 SR
Masa pocisku, g	2,07	2,07	1,81	3,56	1,81	2,59	2,59
Prędkość wylotowa *, m/s	716	701	701	305	701	549	594
Rodzaj pocisku	AP FMJ	smugowy	półpłaszczowy z wkłęsnym wierzchołkiem	FMJBT poddźwiękowy	półpłaszczowy z wkłęsnym wierzchołkiem	V-Max	V-Max
Zasięg, m	200	200	200	100	200	200	200

* Prędkość wylotowa z pistoletu maszynowego P90, z lufy o długości 254 mm.

Nabój SS190 (przeciwpancerny) o długości 40,5 mm, masie 6,03 g posiada pocisk o masie 2,07 g, ładunek miotający o masie 0,42 g i wytwarza ciśnienie maksymalne w komorze nabojoyej 345 MPa. Prędkość wylotowa 716 m/s z lufy o długości 249 mm pozwala mu przebić z odległości 200 m wkład balistyczny do kamizelki kuloodpornej, zbudowany z 48 warstw Kevlaru, lub hełm kompozytowy PASGT. Nabój SS190 może przebić kamizelkę kuloodporną klasy IIIA (wg normy USA), dlatego jego sprzedaż w cywilnej sieci handlowej jest zabroniona. Pocisk jest stabilny przy skoku bruzd w lufie 229 mm. Rdzeń naboju SS190 jest dwuczęściowy i składa się ze stalowego penetratora w części wierzchołkowej i aluminiowego cylindra w części środkowej. Pomiędzy penetratorem a płaszczem jest duża pustka powietrzna. Płaszcz pocisku jest stalowy, platerowany miedzią. Pocisk SS192 z wkłęsnym wierzchołkiem ma rdzeń wykonany z aluminium. Według niektórych ekspertów pocisk SS192 potrafi przebić kamizelkę kuloodporną klasy IIA, dlatego został wycofany z produkcji. Nabój poddźwiękowy Sb193 charakteryzuje się nieznaczną zdolnością penetracji. Nabój SS195LF nie zawiera związków ołowiu. Wierzchołek pocisku jest wkłęsny, rdzeń pocisku jest aluminiowy, a płaszcz wykonany jest z miedzi. Pociski w nabojach SS196SR i SS197SR różnią się nieznacznie prędkością. Pociski te z wkłęsnym wierzchołkowym mają płaszcz miedziany, rdzeń ołowiany, a wierzchołek wykonany jest z poliwęglanu, co powiększa ekspansję po zderzeniu z celem.

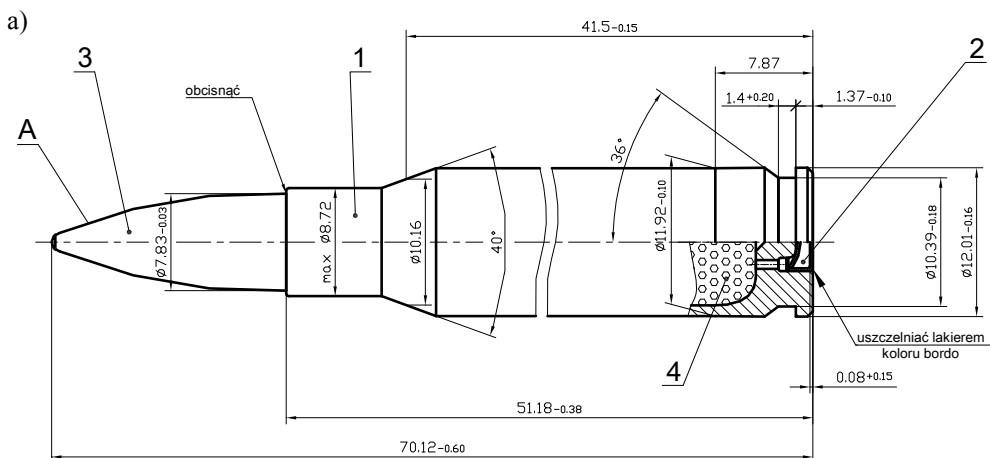
Naboje niemieckie kalibru 4,6x30 mm o masie 6,5 g, długości 38,5 mm zaprojektowano do pistoletu maszynowego HK MP7 PDW. Energia wylotowa pocisku pełnopłaszczowego (płaszcz stalowy platerowany miedzią) z rdzeniem z hartowanej stali o masie 1,6 g wynosi około 420 J (prędkość wylotowa z lufy o długości 178 mm

wynosi 725 m/s). Pocisk ten nie wytwarza dużej stałej rany postrzałowej. Przebija cel modelowy (płyta z tytanu oraz 20-warstwowy kompozyt z Kevlaru) z odległości 100 m, zachowując energię 115 J, co pozwala mu perforować blok żelatyny balistycznej na drodze 150 mm. Pocisk ten może przebić wzorcową płytę CRISAT z odległości 200 m, a hełm PASGT oraz 22 warstwy Kevlaru z odległości 50 m.

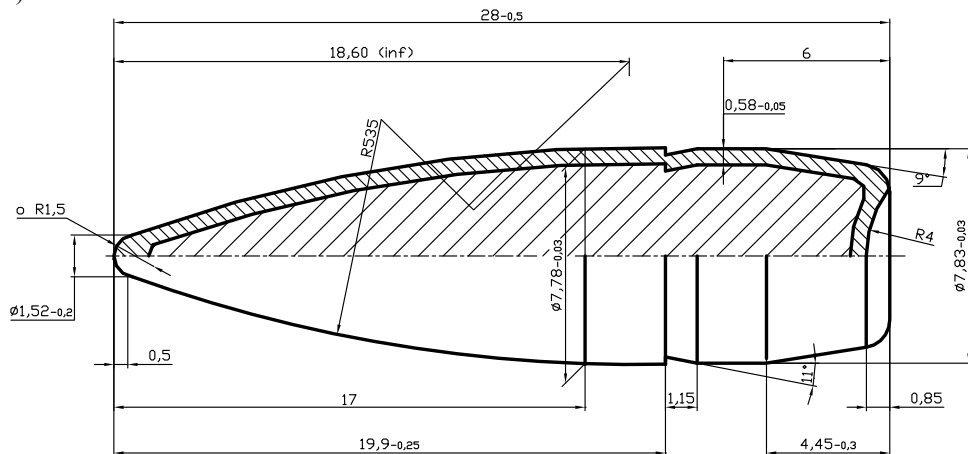
Nabój szwedzki 6,5x25 mm zaprojektowany został do pistoletu Saab Bofors CBJ-MS PDW. Jest to nabój podkalibrowy o długości 29,7 mm i masie 4,5 g, charakteryzujący się tym, że pocisk znajduje się w plastikowym sabocie, a łuska jest aluminiowa. Masa pocisku wynosi 2,07 g, jego rdzeń o średnicy 4 mm wykonany jest z węgla wolframu. Prędkość wylotowa pocisku z lufy o długości 178 mm wynosi 815 m/s, w odległości 200 m od wylotu z lufy wynosi 632 m/s, a w odległości 400 m – 468 m/s. Pocisk ten przebija płytę CRISAT z odległości 400 m, a płytę pancerną o grubości 7 mm z odległości 200 m.

3.4. Naboje karabinowe

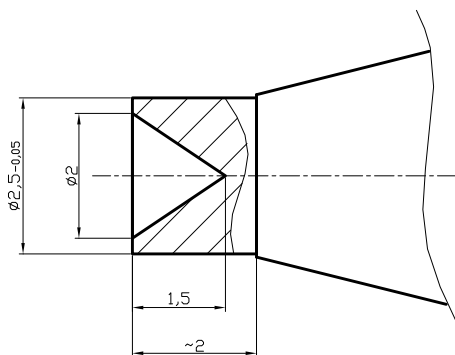
W roku 1953 roku przyjęto w państwach NATO nabój kalibru 7,62x51 mm jako standardowy nabój karabinowy. Decyzja normalizacyjna dotyczyła prędkości, ciśnienia gazów prochowych i niektórych wymiarów tego naboju. Normalizacja nie dotyczy budowy łuski i zastosowanych materiałów [54]. W rezultacie powstał nabój bardzo podobny do 7,62x63 mm Springfield ze skróconą do 51 mm łuską. Słabością tego naboju są duże wartości parametrów charakteryzujących zjawisko odrzutu swobodnego broni, co zmniejsza jej celność. Ranga normalizacji naboju w NATO jest tak wielka, że obecnie jest on w powszechnym użytkowaniu na całym świecie [36].



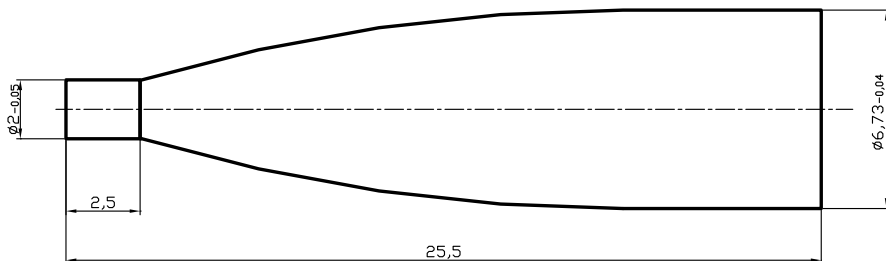
b)



c)



d)



Rys. 3.15. Schemat budowy naboju zwykłego 7,62x51 mm: a) rysunek złożeniowy naboju, b) rysunek złożeniowy pocisku, c) budowa wierzchołka rdzenia, d) rdzeń ołowiany

Nabój 7,62x51 mm w każdym kraju oznaczany jest inaczej, np. w USA – M80 oraz M59, w RFN – DM41A1, Belgii – SS77, Szwecji – 10PRJ. Większość nabo-
jów ma łuski mosiężne, jednakże produkowane są też naboje z łuskami stalowymi. Naboje wytwarzane zgodnie z wymaganiami NATO mają na dnie łuski wybity

symbol NATO, co oznacza ich całkowitą wymiennność. Schemat budowy tego naboju pokazany jest na rysunku 3.15. Rdzeń pocisku wykonany jest ze stopu ołowiu (97%) z antymonem (3%). Siła rozszaleria pocisku i łuski wynosi około 500 N.

Kaliber 7,62x51 mm posiada również nabój sportowy .308 Winchester. Oba naboje wyglądają bardzo podobnie lecz nie są one identyczne. Pociski w obu tych nabojach różnią się budową, jak i zastosowanymi materiałami. Łuski nabo-
jów różnią się grubością (naboje NATO mają grubsze łuski) oraz tolerancjami wykonania niektórych wymiarów. Ciśnienie maksymalne gazów prochowych dla naboju wojskowego wynosi 351,5 MPa, a dla naboju sportowego nie powinno przekraczać 436 MPa. Z tego powodu nie należy strzelać nabojem sportowym z karabinu wojskowego (długość minimalna komory naboowej karabinu wojskowego jest większa o 0,038 mm niż długość maksymalna komory naboowej karabinu sportowego), ponieważ może wystąpić pęknięcie lub zakleszczenie łuski [37, 54]. Próba oddania strzału nabojem wojskowym z karabinu sportowego również może zakończyć się niepowodzeniem. Naboje kalibru 7,62x51 mm produkowane są w różnych odmianach, np.:

- nabój M59 zwykły – przeznaczony jest do użycia przeciwko ludziom i nieopancerzonym obiektom. Pocisk o długości 32,5 mm ma rdzeń wykonany z miękkiej stali;
- nabój M60 HPT – używany jest do badań elementów broni (wytrzymałości lufy, zespołów ryglowych), jest posrebrzany. Nie jest to nabój bojowy. Pocisk ma długość 31,2 mm;
- nabój M61 AP przeciwpancerny – używany jest przeciwko ludziom i lekko opancerzonym celom, blozkom betonowym. Pocisk o długości 32,5 mm prze-
bija z odległości 300 m płytę o grubości 7 mm, z odległości 500 m płytę o gru-
bości 5 mm, a z odległości 1100 m płytę o grubości 3,43 mm. Pocisk można
rozpoznać po czarnym wierzchołku;
- nabój M62 smugowy – przeznaczony jest do obserwacji wystrzałów, sygnalizacji,
efektów wzniesienia pożaru, szkoleń. W przypadku gdy naboje te są wystrzeliwa-
ne z karabinu maszynowego, należy stosować zasadę (aby zmniejszyć zużycie lu-
fy), że po jednym naboju smugowym zostaną wystrzelone 4 naboje innego typu,
co wynika również z taktyki, polegającej na możliwości ciągłego korygowania
prowadzonego ognia. Pocisk o długości 34,3 mm ma charakterystyczny poma-
rańczowy wierzchołek;
- nabój M62 OFM (ang. Overhead Fire Application – do strzelania ponad głowę) –
przeznaczony jest do strzelania ponad głowami żołnierzy podczas ich ćwiczeń na
poligonie. W celu zapewnienia bezpieczeństwa ćwiczącym żołnierzom naboje te
muszą być bardzo starannie selekcjonowane. Pocisk ma długość 34,3 mm;

- nabój M63 – jest nabojem treningowym służącym do nauki ładowania, badań symulacyjnych działania różnych mechanizmów broni oraz oddziaływania broni na strzelca. Łuska tego naboju charakteryzuje się 6 długimi podłużnymi wgnieceniami. Pocisk ma długość 34,3 mm;
- nabój M64 – służy do wytworzenia ciśnienia odpowiedniego do wystrzelenia granatu z karabinu M14. Łuska naboju zaciśnięta jest w charakterystyczną 5-ramienną gwiazdę i jest uszczelniona czerwonym lakierem;
- nabój M80 zwykły – przeznaczony jest do użycia przeciwko ludziom i przeszkodom z lekkich materiałów, jak również do szkoleń poligonowych. Jego długość całkowita wynosi 71,12 mm, a masa 25 g. Łuska naboju wykonana jest z mosiądzu. Pocisk tego naboju o masie 9,53 g wystrzelony z lufy o długości 559 mm z bruzdami o skoku 305 mm (z karabinu M14) ma prędkość wylotową 848 m/s. Pocisk jest pełnopłaszczowy z ołowianym rdzeniem i przebija płytę stalową o grubości 4 mm z odległości 300 m, a z odległości 500 m płytę stalową o grubości 3 mm;
- nabój M82 pozoracyjny – używany jest do szkoleń wtedy, gdy pożądanym jest widok ognia wydobywającego się z lufy karabinu;
- nabój M118 wyborowy – używany jest do karabinów M14, M21, M24 i karabinu snajperskiego M40A1. Nabój ten jest przeznaczony i specjalnie wykonywany do bardzo celnej broni. Rozproszenie 10 strzałów z lufy balistycznej i odległości 550 m wynosi nie więcej niż 305 mm. Pocisk tego naboju jest pełnopłaszczowy, rdzeń jest ołowiany. Długość pocisku wynosi 33,3 mm. Na dnie łuski naboju wybity jest symbol NATO;
- nabój M160 fragmentujący – używany jest do karabinów maszynowych M219 i M240. Długość pocisku wynosi 30,2 mm. Nabój przeznaczony jest do strzelania pojedynczym ogniem z karabinów maszynowych w celach szkoleniowych. Fragmentujący pocisk po zderzeniu z celem rozpada się na wiele części, pozostawiając jedynie znak w punkcie uderzenia;
- nabój M172 treningowy – przeznaczony jest do badania mechanizmów i metalowych taśm podających, używanych w broni kalibru 7,62 mm. Pocisk w tym naboju jest oksydowany na czarno i ma długość 29 mm lub 30 mm zależnie od rodzaju płaszcza;
- nabój M276 smugowy – jest nabojem bojowym przeznaczonym dla żołnierzy wyposażonych w sprzęt noktowizyjny. Używany jest w karabinach maszynowych M60, M134, M219, M240 i karabinie M14;
- nabój M852 – przeznaczony jest do użycia w karabinach M14 National Match. Jest to nabój wyborowy do prowadzenia precyzyjnego strzelania. Jego łuska ma blisko podstawy moletowany rowek. Pocisk w części wierzchołkowej posiada wgłębienie;

- nabój M993 AP przeciwpancerny – używany jest w karabinach maszynowych M60, M240 i zestawie snajperskim M24. Przeznaczony jest do użycia przeciwko lekko opancerzonym celom. Nabój ten posiada zdolność przebijania takich przeszkód z odległości 2–3 razy większej niż wcześniejsze pociski przeciwpancerne. Pocisk zbudowany jest z metalowej koszulki platerowanej tombakiem, w której znajduje się wolframowy rdzeń i aluminiowy krążek. Odpowiednio ukształtowany rdzeń wolframowy spełnia funkcję penetratora przeciwpancernego. Łuska naboju wykonana jest z mosiądzu. Pocisk tego naboju może przebić płytę pancerną o dużej twardości, o grubości 7 mm z odległości 500 m od wylotu z lufy. Odpowiada to zdolności przebicia płyty pancerniej o grubości 6,35 mm z odległości 550 m. Pocisk naboju 7,62x51 mm M993 AP może przebić płytę pancerną o grubości 15 mm z odległości 300 m lub płytę stalową o twardości 300 HB o grubości 20 mm ze 100 m. Przebija też płyty ochronne z plexiglasu o grubości 120 mm używane w helikopterach.

Tabela 3.7. Wybrane parametry nabojów kalibru 7,62x51 mm [9]

Rodzaj naboju	Masa naboju, g	Długość naboju, mm	Materiał miotający	Masa materiału miotającego, g	Masa pocisku, g	Ciśnienie maksymalne, MPa	Prędkość wylotowa, m/s
M59 zwykły	25,47	71,10	WC 846	2,98	9,75	351,5	838 ¹
M60 HPT	26,70	71,10	IMR 4475	2,66	11,11	474,5	–
M61 AP przeciwpancerny	25,47	71,10	IMR 4475	2,66	9,75	351,5	838 ¹
M62 smugowy	24,82	71,10	WC 846	2,98	9,20	351,5	838 ¹
M62 OFM smugowy	25,08	71,10	WC 846	2,98	9,46	351,5	838 ¹
M64 miotający do granatnika	19,12	50,80	WC 830	2,92	–	–	49 ²
M80 zwykły	25,40	71,10	WC 846	2,98	9,46	351,5	838 ¹
M82 pozoracyjny	15,23	66,55	SR 8231	0,97	–	–	–

M118 wyborowy	25,27	71,88	WC 846 lub IMR 4895	2,85	11,15	351,5	805 ¹
M160 fragmentujący	20,41	71,10	SR 8074	0,68	7,03	–	402 ³
M276 smugowy	24,69	71,10	WC 846	2,98	9,07–9,72	351,5	838 ¹ –GMCS lub 817 GM
M852 wyborowy	24,95	71,88	IMR 4895	2,72	10,89	351,5	777 ¹
M993 AP przeciwpancerny	23,50	71,10	Bofors NC 1290	2,92	8,20	387,5	910 ¹

¹ prędkość w odległości 23,8 m od wylotu z lufy,

² prędkość wystrzelonego granatu w odległości 1,7 m od wylotu z lufy,

³ prędkość w odległości 91 m od wylotu z lufy.

W większości przypadków przeszkody, których pociski nabojęw kalibru 5,56x45 mm SS109 (z twardym metalowym rdzeniem) nie są w stanie pokonać, skutecznie chronią również przed pociskami kalibru 7,62x51 mm M80 (z miękkim rdzeniem ołowianym). Pociski nabojęw kalibru 7,62x51 mm najskuteczniej przebijają przeszkody z odległości około 600 m. Zdolność pojedynczego zwykłego pocisku kalibru 7,62x51 mm do penetracji różnych materiałów zestawiono w tabeli 3.8.

Tabela 3.8. Zdolność penetracji różnych materiałów przez pojedynczy zwykły pocisk do naboju kalibru 7,62x51 mm

Odległość od wylotu z lufy	Ściana z drewna sosnowego o grubości	Suchy luźny piasek o grubości	Pustak budowlany o grubości	Beton o grubości
25 m	330 mm	127 mm	203 mm	51 mm
100 m	457 mm	114 mm	254 mm	51 mm
200 m	1041 mm	178 mm	203 mm	51 mm

Należy zaznaczyć, że wielokrotne skupione uderzenie pocisków może spowodować penetrację większości typowych przeszkód budowlanych. Jednym z wyjątków jest gruba ściana żelbetonowa lub ściana z naturalnych gęstych kamieni.

W 1903 roku wprowadzone zostały do uzbrojenia armii USA amerykański nabój karabinowy 7,62x63 mm Springfield (.30-06 Springfield lub .30 US Service) oraz

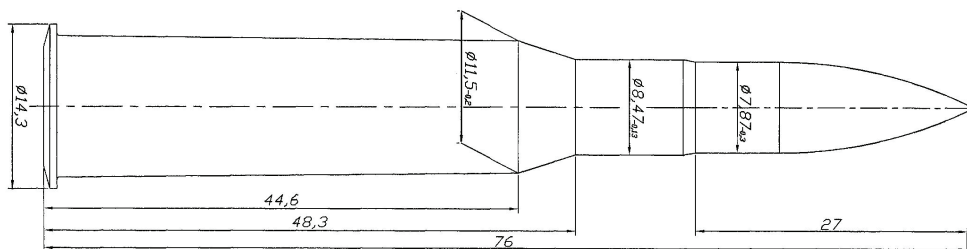
karabin Springfield M1903. Kształt pocisku modernizowano w latach 1906, 1926, 1940. Pocisk z 1940 roku został znormalizowany, otrzymał nazwę M2 i używany jest do dziś. Nabój Springfield został przyjęty do uzbrojenia w wielu państwach. Występuje duża różnorodność stosowanych pocisków, co zostało przedstawione w tabeli 3.9.

Tabela 3.9. Wybrane parametry naboju kalibru 7,62x63 mm Springfield [43]

Rodzaj pocisku	Masa naboju, g	Długość naboju, mm	Masa pocisku, g	Ciśnienie maksymalne, MPa	Prędkość początkowa, m/s
M2 zwykły	26,96	84,84	9,85	351	837
APM2 przeciwpancerny	27,47	84,84	10,69	380	829
M14 przeciwpancerno-zapalający	26,37	84,84	9,72	380	849
M1 zapalający	25,85	84,84	9,07	366	812
M22 fragmentujący	20,74	83,57	7	380	396
M25 smugowy	25,98	84,84	9,46	351	814
M25 zapalający	25,98	84,84	9,43		812
M72 wyborowy	27,54	84,84		351	805

Pocisk zwykły M2 posiada rdzeń ołowiany. Pociski przeciwpancerny APM2 oraz przeciwpancerno-zapalający M14 posiadają rdzenie stalowe. Pocisk fragmentujący M22 wykonany jest z proszku ołowiu i bakelitu. Nabój wyróżnia się dużą długością całkowitą – 84,8 mm. Długość pocisku wynosi 32,5 mm, długość łuski 63,2 mm, masa naboju 27,7 g, masa ładunku miotającego 3,62 g. Średnie ciśnienie maksymalne gazów prochowych wynosi 351,5 MPa. Naboje kalibru 7,62x63 mm produkowane były też w Wielkiej Brytanii i Belgii. Pocisk w naboju angielskim zwykłym oznaczony Mark 4z posiadał masę 9,72 g i prędkość wylotową 855 m/s, a w naboju zapalającym Mark 2z masę 9,98 g i prędkość wylotową 870 m/s. W naboju belgijskim pocisk zwykły miał masę 9,75 g i prędkość wylotową 845 m/s, pocisk przeciwpancerny miał masę 10,51 g i prędkość wylotową 830 m/s, a pocisk smugowy posiadał masę 9,14 g i prędkość wylotową 830 m/s.

Rosyjski nabój karabinowy 7,62x54R mm Mosin (rys. 3.16) wprowadzony został do uzbrojenia armii carskiej w 1891 roku wraz z karabinem Mosin wz. 1891 [10]. Cechą wyróżniającą naboju jest wystająca kryza łuski. Nabój ten jest stosowany jeszcze do dzisiaj w niektórych karabinach wyborowych oraz ręcznych i uniwersalnych karabinach maszynowych. Długość naboju wynosi 76,7 mm, długość łuski 53,6 mm. Masa naboju wynosi od 23,2 g do 25,2 g. Średnie ciśnienie maksymalne wynosi 300 MPa. Prędkość wylotowa w zależności od pocisku jest w przedziale od 800 m/s do 870 m/s. W podstawie pocisku (lekkiego z rdzeniem ołowianym) jest stożkowa pustka o głębokości 5 mm. Pocisk zwykły do tego naboju był wielokrotnie modernizowany. Początkowo część wierzchołkowa pocisku była zaokrąglona i jego masa wynosiła 13,92 g, a po licznych modyfikacjach powstał pocisk ostrołukowy. W Rosji, oprócz pocisku zwykłego z rdzeniem stalowym o masie 9,65 g lub ołowianym o masie 11,98 g, produkowane są m.in. pociski przeciwpancerno-zapalające (z rdzeniem stalowym o masie 10,04 g lub wolframowym o masie 12,11 g), smugowe o masie 9,65 g, przeciwpancerno-zapalająco-smugowe o masie 9,2 g, zapalająco-wskaźnikowe o masie 10,36 g. Naboje te produkowane były również w Finlandii (zwykle, przeciwpancerne, smugowe, zapalające).



Rys. 3.16. Model naboju 7,62x54R mm Mosin

3.5. Amunicja o zmniejszonym zasięgu działania

Amunicja bojowa stosowana na poligonach lub strzelnicach zanieczyszcza ziemię, wodę, powietrze, ludzi i zwierzęta ołowiem i jego toksycznymi związkami oraz stwarza duże zagrożenie dla osób postronnych. Z tego względu opracowano nowe rodzaje amunicji, tańsze i charakteryzujące się ograniczonymi strefami rażenia [7]. Porównanie wybranych rodzajów amunicji o zmniejszonym zasięgu działania z bojową amunicją NATO przedstawiono w tabeli 3.10.

Tabela 3.10. Porównanie wybranych rodzajów amunicji o zmniejszonym zasięgu działania z bojową amunicją NATO [7]

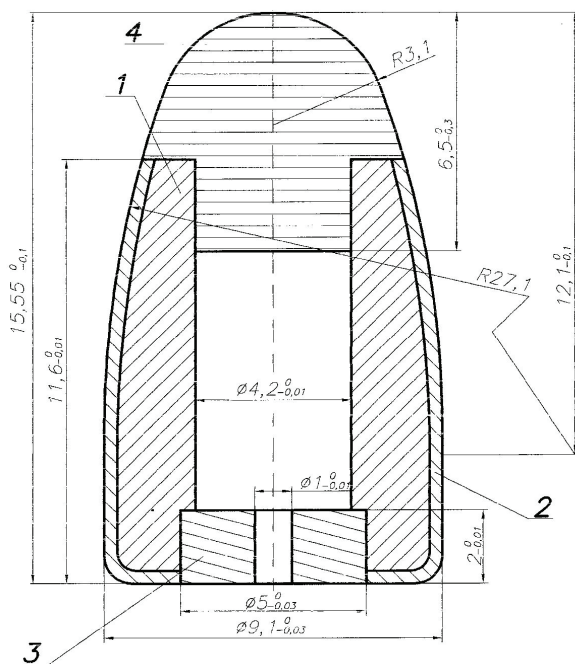
Rodzaj naboju	Parametry naboju	9x19 mm Parabellum	5,56x45 mm	7,62x51 mm	12,7x99 mm
Z pociskiem plastikowym	Masa pocisku	0,4 g	0,2 g	0,7 g	3,2 g
	Prędkość wylotowa	410 m/s	1000 m/s	1100 m/s	1070 m/s
	Zasięg skuteczny *	12 m	30 m	50 m	150 m
	Donośność maksymalna	125 m	250 m	300 m	700 m
O zmniejszonej donośności pocisku	Masa pocisku	6,4 g	1,8 g	5,6 g	38 g
	Prędkość wylotowa	350 m/s	1050 m/s	870 m/s	900 m/s
	Zasięg skuteczny	50 m	180 m	150 m	600 m
	Donośność maksymalna	300 m	750 m	1100 m	3500 m
Z pociskiem fragmentującym	Masa pocisku	6,2 g	2,9 g	7,7 g	45,6 g
	Prędkość wylotowa	442 m/s	670 m/s	790 m/s	900 m/s
Bojowy NATO	Masa pocisku	8 g	4 g	9,7 g	42,9 g
	Prędkość wylotowa	350 m/s	915 m/s	855 m/s	890 m/s
	Donośność maksymalna	1750 m	3000 m	4000 m	7000 m

* Odległość, na której tor lotu pocisku ćwiczebnego z zadawalającym przybliżeniem pokrywa się z torem lotu pocisku bojowego.

Amunicja z pociskami plastikowymi zapewnia bezpieczeństwo szkolenia, jednak aby ją stosować, należy dodatkowo opracować zmniejszone cele oraz zmiany nastaw celowników. Mały ładunek prochowy i mała masa pocisku powodują konieczność stosowania dodatkowych urządzeń wspomagających prawidłowe działanie automatyki broni, co jest kłopotliwe [1]. Początkowa część toru balistycznego pocisku plastikowego – około 25 m (10% donośności maksymalnej, tj. 250 m), powinna być identyczna jak pocisku bojowego [28]. Na skutek oporu aerodynamicznego pocisk plastikowy szybko zmniejsza prędkość i nie uzyskuje dużej donośności. Z uwagi na małą masę i szybki spadek prędkości energia kinetyczna pocisków plastikowych jest znacznie mniejsza niż pocisków bojowych, a duża powierzchnia części wierzchołkowej pocisku

powoduje, że po uderzeniu w cel nie następuje jego penetracja. Po uderzeniu prostopadłym w przeszkodę pocisk plastikowy pęka lub deformuje się tak, że przekazuje całą energię przeszkodzie i nie odbija się. Przykładowo w pocisku Simunition 5,56 mm FX o masie 0,25 g po uderzeniu w przeszkodę z prędkością 200 m/s średnica części wierzchołkowej zwiększa się do 9 mm, a energia kinetyczna jednostkowa wynosi 8 J/cm². W pocisku Simunition 9 mm FX o masie 0,45 g po uderzeniu w przeszkodę z prędkością 145 m/s średnica części wierzchołkowej zwiększa do 11 mm, a energia kinetyczna jednostkowa wynosi 5 J/cm². Tak mała energia kinetyczna jednostkowa uderzenia powoduje, że pociski te nie penetrują bloku 20% żelatyny balistycznej [13].

Doność pocisków w nabojach o zmniejszonym zasięgu jest kilka razy mniejsza niż dla pocisków bojowych – standardowych, lecz ich masy i prędkości wylotowe są zbliżone. Jedno z zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych polega na tym, że pocisk wykonany ze stopów miedzi ma w części środkowej duży otwór wypełniony tworzywem sztucznym [46]. Po oddaniu strzału ciśnienie gazów prochowych wypycha najpierw plastikową wkładkę, co powoduje, że do celu zmierza pocisk z otworem w części centralnej o zmniejszonej donośności i zadawalającej zdolności do penetracji.



Rys. 3.17. Model pocisku 9x19 mm o zmniejszonej donośności według patentu Nr 180835:
1 – rdzeń, 2 – płaszcz, 3 – tłoczek, 4 – czepiec

Innym rozwiązaniem jest nabój z rozdzielającym się pociskiem, pokazany na rysunku 3.17, o donośności znacznie zmniejszonej w porównaniu do pocisku pełnopłaskowego [12].

Po zainicjowaniu palenia się w łusce ładunku miotającego wzrastające ciśnienie gazów prochowych przedostających się przez kanał centralny tłoczka powoduje w pierwszej kolejności usunięcie czepca, a następnie tłoczek razem z korpusem przemieszczają się w stronę wylotu lufy. Po opuszczeniu lufy siła oporu aerodynamicznego oddziela tłoczek od korpusu, który szybko traci energię kinetyczną i samodzielnie dociera do celu [12]. Skuteczny zasięg takiego pocisku ograniczony jest do około 75 m.

W latach 1970–1980 taktycy policyjni i wojskowi wskazali na konieczność opracowania amunicji, która zmniejszyłaby znacznie niebezpieczeństwo wystąpienia rykoszetów oraz prawdopodobieństwo zranienia osób przypadkowych, szczególnie podczas walk prowadzonych w obiektach o niewielkich rozmiarach, a także niezawierającej związków ołowiu [47]. Spłonki w tych nabojach również nie mogą zawierać ołowiu, ale nie powinno to zmniejszyć ich własności użytkowych [6]. Jednym z nowszych, lecz już powszechnie zaakceptowanych rozwiązań tak postawionego zadania, są naboje z pociskami tzw. fragmentującymi, o zmniejszonym rykoszetowaniu i ograniczonej penetracji [20]. Pociski te dzielą się na dużą ilość części po zderzeniu z twardą przeszkodą, co ogranicza ich zdolności penetracyjne, ale pozwala na bardzo szybkie przekazanie trafionemu obiektowi prawie całej ich energii kinetycznej. Pociski te powinny posiadać takie same charakterystyki balistyczne jak pociski bojowe (co najmniej na początkowej części toru balistycznego – do 50 m lub 100 m). W zależności od właściwości przeszkody pocisk może ulec fragmentacji po uderzeniu w nią lub po jej przebicciu. Powstające drobne części, wszystkie o zbliżonej wielkości i masie mniejszej od 0,012 g, szybko tracą energię kinetyczną, nie zagrażając w ten sposób następnym celom [17].

Niemniej jednak przy niewielkich prędkościach i bardzo małych kątach uderzenia występuje niebezpieczeństwo odbicia się, tzw. rykoszetowanie pocisku. Amunicja z pociskami fragmentującymi może mieć podwójne zastosowanie – nadaje się zarówno do szkolenia przyszłych użytkowników broni strzeleckiej (60% zużycia amunicji fragmentującej), jak i do tych działań interwencyjnych, gdzie występuje duże niebezpieczeństwo rażenia osób postronnych oraz uszkodzenia urządzeń technicznych, np. samolotów, elektrowni jądrowych. Z tego względu pociski fragmentujące stosowane są głównie w nabojach pistoletowych (np. 9 mm Parabellum, .45 ACP, .40 S&W), pośrednich i karabinowych (np. 5,56 mm NATO, 7,62 mm NATO, 7,62x39 mm). Podstawowe problemy związane z tymi nabojami to nad-

mierna penetracja twardych celów, czułość spłonki, higroskopijność, celność. W roku 1974 firma Glaser Safety Slug z USA zaprezentowała nabój z pociskiem, wypełnionym drobnymi cząsteczkami metalu, posiadający wgłębienie na wierzchołku, o zmniejszonej zdolności do rykoszetowania i penetracji celu na wskroś. Początkowe problemy z funkcjonowaniem broni – większe zużycie lufy ograniczały zastosowanie tych nabojęw. W roku 1987 ta sama firma skonstruowała pocisk fragmentujący z zaokrąglonym wierzchołkiem (ułatwia to działanie mechanizmów podających w broni). W roku 1988 konstruktorzy z tej firmy opracowali pociski z rdzeniem prasowanym, co pozwoliło zwiększyć masę pocisku oraz ilość powstających odłamków. W roku 1994 firma ta wprowadziła na rynek pocisk ulegający fragmentacji już przy prędkości zderzenia 305 m/s, co uzyskano poprzez zastosowanie w części wierzchołkowej pocisku miękkiego (a nie twardego) tworzywa sztucznego. Pociski fragmentujące nie zawierają ołowiu, mogą być z płaszczem lub bez płaszcza. Pociski te wykonywane są technologią metalurgii proszków: prasowane są w temperaturze pokojowej i nie wymagają spiekania, lub jako kompozyty z proszków metali i polimerów. Stosowana jest również technologia tzw. spiekania reakcyjnego. Najczęściej wykonywane są z proszków miedzi (o zawartości 93% Cu + 7% polimeru), wolframu z cyną lub cynkiem, bizmutu. Parametry procesu technologicznego mogą być tak dobrane, że otrzymywany jest pocisk o pożądanej gęstości i budowie, ulegający fragmentacji przy uderzeniu w twardą przeszkodę i pozostający w całości przy trafieniu w przeszkodę miękką. Pozwala to w stosunkowo prosty sposób sterować parametrami balistycznymi pocisku. Rozkłady prędkości i ciśnienia dla tych pocisków są takie jak dla pocisków o tradycyjnej budowie (tab. 3.11), a celność (ze względu na jednorodność budowy) może być nawet lepsza. Pocisk fragmentujący musi być odporny na działanie wody.

Tabela 3.11. Amunicja fragmentująca z proszków miedzi firmy Delta z USA [32]

Kaliber	Masa pocisku, g	Prędkość ¹ v_0 , m/s	Prędkość ² v_{30} , m/s	Ciśnienie w komorze, MPa	Energia ³ E_0 , J	Energia ⁴ E_{30} , J
9 mm	7,45	351	306	245,50	459	349
.38 Special	9,07	291	261	122,20	384	309
.357 Sig	7,45	386	307	245,40	555	351
.40 S&W	10,04	320	282	260,20	514	399
.45 ACP	12,64	282	274	144,30	502	474

¹ prędkość pocisku wylotowa,

² prędkość pocisku w odległości 30 m od wylotu z lufy,

³ energia kinetyczna pocisku wylotowa,

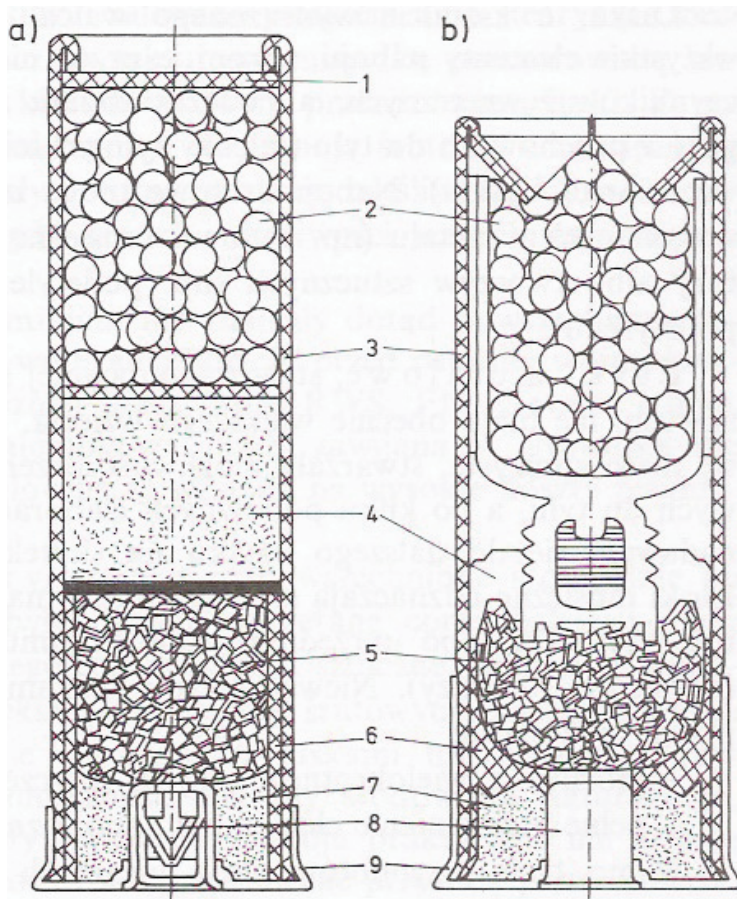
⁴ energia kinetyczna pocisku w odległości 30 m od wylotu z lufy.

3.6. Naboje do gładkolufowych strzelb bojowych

Gładkolufowe strzelby znane i używane są zarówno w wojsku (w Europie od połowy XVI w.), jak i policji (od około 150 lat), w służbach porządkowych, a także jako broń myśliwska lub sportowa. Cechą charakterystyczną tej broni jest lufa nieposiadająca bruzd oraz możliwość zastosowania naboju o bardzo zróżnicowanej budowie, do oddawania strzałów na odległość nie większą niż 100 m (50 m dla pocisków śrutowych). Oprócz naboju śrutowego często stosowane są też naboje z pociskami kulowymi, np. breneka, proszkowymi, fragmentującymi, naboje akustyczne, naboje gazowe i tzw. naboje bezpieczne. W armii amerykańskiej do broni gładkolufowej kalibru 12 używane są jako standardowe następujące naboje: śrutowe Nr 00 o długości 70 i 76, np. M162, śrutowe Nr 4 o długości 65, np. M257, kulowe o długości 70, bezpieczne M1012 i M1013, proszkowe M1030. Badania brytyjskich naukowców w 1952 roku wykazały, że strzelby gładkolufowe bojowe są bronią bardzo efektywną, lecz w odległościach do około 70 m od wylotu z lufy. Zaletą strzelb gładkolufowych jest również to, że w odległości do 27 m od wylotu z lufy prawdopodobieństwo trafienia w cel wielkości człowieka (amunicją śrutową) jest znacznie większe niż dla innych rodzajów broni strzeleckiej. Prawdopodobieństwo to dla broni gładkolufowej wynosi 18%, dla karabinów 9%, a dla pistoletów maszynowych strzelających seriami 5-strzałowymi – 12% [14]. Wadą strzelb jest natomiast ich duży rozmiar, mała szybkostrzelność, mała donośność pocisków. W Europie były wykorzystywane sporadycznie, z różnych względów, aż do czasów I wojny światowej. Żołnierze wojsk USA uczestniczący w I wojnie światowej posiadali na wyposażeniu strzelby gładkolufowe, 6-strzałowe i amunicję śrutową kalibru 12. Strzelby przeładowywane były ręcznie w systemie tzw. pump-action, z magazynku rurowego znajdującego się pod lufą. W nabojach zastosowano śruciny o średnicy 8,38 mm, tzw. buckshot Nr 00. Broń ta przeznaczona była głównie do walk na małych odległościach, ataków na pozycje karabinów maszynowych. W obszarach zurbanizowanych, leśnych oraz tam gdzie walki odbywają się w małych odległościach efektywność stosowania amunicji śrutowej jest bardzo duża.

Naboje śrutowe stosowane w strzelbach gładkolufowych bojowych mają budowę i oznaczenia zbliżone do naboju myśliwskiego. Łuska w kształcie walca z kryzą wystającą (metalowa część tzw. okucie) może być wykonana z tektury, tworzywa sztucznego lub mosiądzu, co pokazano na rysunku 3.18. Przybitki oddzielające ładunek prochowy od ładunku śrutowego wykonane są z filcu lub odpowiedniego tworzywa sztucznego (np. polietylen – w nabojach firmy Federal). Jakość i kształt

przybitki ma duży wpływ na prędkość początkową, odrzut i kształtowanie się przestrzenne wiązki śrucin po wystrzale [19].



Rys. 3.18. Model budowy nabojów śrutowych do strzelb gładkolufowych [19]: a) model z tekturową łuską denkiem, wkładką, przybitką oraz stalowym okuciem, b) model z plastikową łuską denkiem, wkładką, przybitką oraz mosiężnym okuciem; 1 – zatyczka, 2 – ładunek śrutu, 3 – łuska, 4 – przybitka, 5 – ładunek prochu, 6 – wkładka, 7 – denko, 8 – spłonka, 9 – okucie

Zarówno średnica śrucin, jak i materiał, z którego są wykonane (zwłaszcza jego gęstość i twardość), mają duży wpływ na balistykę końcową. Podczas przemieszczania się w lufie kształt śrucin może ulegać deformacji (ze względu na zderzenia wzajemne oraz z powierzchnią wewnętrzną lufy), co negatywnie wpływa na ich balistykę zewnętrzną i końcową. Śruciny stosowane w tych nabojach wykonywane są najczęściej ze stopu ołowiu z antymonem, molibdenem, arsenu, a nieraz pokrywane są warstwą niklu, miedzi lub chromu, co ma za zadanie zwiększenie ich twardo-

ści. Rzadziej stosowany jest śrut wykonany z bizmutu, żelaza, cynku, wolframu, spieków wolframu z żelazem lub śruciny fragmentujące wykonane z kompozytów na bazie miedzi lub wolframu. Masa pocisków śrutowych wynosi około 30 ± 4 g i zależy od kalibru oraz przeznaczenia naboju. Kaliber amunicji do broni gładkolufowej określa się zgodnie z tradycją za pomocą tzw. wagomiaru kulistego pocisku [19]. Zgodnie z tym systemem kaliber oznacza liczbę kul, np. 12, o łącznej masie jednego funta angielskiego (453,59 g), wykonanych z czystego ołowiu, o jednakowej średnicy, równej średnicy wewnętrznej części prowadzącej lufy. Najczęściej stosowane są naboje kalibru 12 (tab. 3.12).

Tabela 3.12. Wybrane parametry nabojów do strzelb gładkolufowych [53]

Kaliber, wagomiarowy	Średnica lufy, mm	Długość łuski, mm	
		standardowa	magnum
.410"	10,414	63,5 lub 76	–
28	13,970	70	–
20	15,621	70	70 lub 76
16	16,815	70	70
12	18,517	70	70 lub 76
10	19,685	73	88,90

Długości łusek przed zawinięciem powinny być dopasowane do wymiarów komory nabojowej, wynoszą one najczęściej 65 mm, 69,8 mm, 76 mm, 88,7 mm. Średnica śrucin może zmieniać się od 2 mm do 6 mm, tzw. birdshot, oraz od 6 mm do 9 mm, tzw. buckshot, co przedstawiono w tabeli 3.13.

Każdy wyprodukowany nabój musi być odpowiednio oznakowany, aby uniknąć pomyłkowego użycia. W tym celu na metalowym okuciu dna łuski wybity jest wagomiar i symbol producenta, na tulejce łuski opisana jest długość rozwiniętej łuski i wielkość zastosowanego śrutu (oznaczenie to może także znajdować się na krążku zamykającym nabój z góry), na łusce słowo „Magnum” oznacza, że nabój jest przeznaczony do broni o podwyższonej wytrzymałości.

Masa ładunku prochowego wynosi od 1,5 g do 2,3 g. Prędkość wylotowa pocisków śrutowych i kulowych wynosi około 400 m/s. Wartość średnia ciśnienia maksymalnego gazów prochowych dla nabojów śrutowych wynosi około 68 ± 4 MPa (90 MPa dla nabojów Magnum).

Tabela 3.13. Oznaczenia i parametry pocisków (z ołowiu) w amerykańskich nabojach śrutowych kalibru 12 [20]

Nazwa naboju	Oznaczenie wielkości śrucin	Masa pojedynczej śruciny, g	Średnica śruciny, mm	Liczba śrucin, wykonanych z ołowiu o masie 28,36 g (jedna uncja)
Śrutowy, tzw. birdshot	12	0,01	1,30	2385
	11	0,02	1,50	1750
	9	0,05	2,03	585
	8,5	0,06	2,16	485
	8	0,07	2,29	410
	7,5	0,08	2,41	350
	7	0,09	2,54	315
	6	0,13	2,79	225
	5	0,17	3,05	170
	4	0,21	3,30	135
	3	0,24	3,56	115
	2	0,31	3,81	90
	1	0,36	4,06	80
	BB	0,57	4,57	50
Śrutowy, tzw. buckshot	BBB	0,61	4,83	45
	T	0,71	5,08	40
	F	0,95	5,59	30
	4	1,33	6,10	22
	3	1,52	6,35	19
	2	1,90	6,86	15
	1	2,59	7,62	11
	0	3,13	8,13	9
	00	3,49	8,38	8
	000	4,41	9,14	6

Duża różnorodność zadań oraz stosowanej amunicji powoduje, że broń gładkolufowa współcześnie konstruowana może być przeładowywana ręcznie lub strzelać w trybie automatycznym, np.: Franchi SPAS 12 i 15 kaliber 12, Benelli M1 i M3 kaliber 12, Saiga 12 kaliber 12, Mossberg 500, Remington M870 Mk1. Strzelby te

posiadają magazynek pudełkowy lub rurowy na 8 nabojów. Przeładowanie ręczne konieczne jest przy stosowaniu amunicji tzw. bezpiecznej, z pociskami o małej energii kinetycznej wylotowej, natomiast przeładowanie automatyczne broni jest możliwe przy stosowaniu amunicji bojowej.

Pociski w nabojach bojowych najczęściej są kulowe lub śrutowe. Energia kinetyczna pocisków kulowych typu breneka przy wylocie z lufy wynosi około 3100 J. Po przebyciu drogi 50 m energia ta zmniejsza się do około 1900 J, a w odległości 100 m od wylotu z lufy wynosi około 1000 J. W nabojach śrutowych pocisk zbudowany jest z dużej ilości śrucin o kształcie zbliżonym do kulistego (rys. 3.18). Masa całkowita pocisku jest wprawdzie duża, lecz masa pojedynczej śruciny jest mała (tab. 3.12). Energia kinetyczna wylotowa pocisków śrutowych również jest dosyć duża, ale szybciej ulega zmniejszeniu niż w przypadku pocisków kulowych. W odległości około 100 m od wylotu z lufy jej wartość zmniejsza się o 50–90%, w zależności od budowy pocisku (głównie wielkości śrucin). Prędkość początkowa pocisku śrutowego, np. buckshot Nr 00, po przebyciu drogi 50 m zmniejsza się o 50%, a po przebyciu drogi 100 m – 75%. Prędkość początkowa pocisku birdshot Nr 2 po przebyciu drogi 50 m zmniejsza się o 60%, a po przebyciu drogi 100 m zmniejsza się o 80%. Spadek prędkości śrucin w dużym stopniu zależy od ich masy oraz od tzw. gęstości przekroju poprzecznego. Zakładając kulisty kształt śrucin, pomiędzy ich średnicą a wartością tego parametru występuje liniowa zależność. Wartość gęstości przekroju poprzecznego dla śrucin wykonanych z ołowiu jest prawie o 50% większa niż ze stali. Zwiększanie prędkości wylotowej pocisku i jego masy powoduje wzrost wartości parametrów charakteryzujących zjawisko odrzutu (które, w przypadku broni gładkolufowych, i tak są znacznie większe niż w innych rodzajach broni strzeleckich), co znacznie utrudnia celne oddawanie strzałów [11]. Z tego powodu m.in. zostały opracowane naboje o tzw. zmniejszonej energii odrzutu, np. firmy Federal z USA [34].

Skuteczność działania nabojów śrutowych typu birdshot ograniczona jest do bardzo niewielkich odległości od wylotu z lufy ze względu na gwałtownie zmniejszającą się prędkość śrucin. Wynika to głównie z małych wartości gęstości przekroju poprzecznego śrucin. Śruciny o średnicy mniejszej od 4,5 mm z praktycznego punktu widzenia (mała donośność i głębokość penetracji) nie nadają się do zastosowań bojowych, a zwłaszcza ofensywnych. Należy jednak zaznaczyć, że z tych samych względów niektórzy użytkownicy broni do działań defensywnych wybierają właśnie te pociski, gdyż nie wykazują one nadmiernej penetracji. Jest to ważna cecha głównie w terenach gęsto zaludnionych, gdzie ryzyko zranienia osób postronnych jest szczególnie duże.

Naboje śrutowe o średnicach śrucin większych od 6 mm (tzw. buckshot) stosowane są w amunicji bojowej. Liczba śrucin w nabojach zależy od ich średnicy i dla

kalibru 12 wynosi 8–27 sztuk. Najczęściej stosowane są naboje kalibru 12/70 Nr 00 zawierające 9 śrucin (w odmianie magnum występuje 12 śrucin). Z licznych badań wynika, że naboje kalibru 12 Nr 1 zawierające 16 śrucin mają optymalną konstrukcję pod względem penetracji, średnicy i prawdopodobieństwa trafienia w cel. Niektóre naboje występują w odmianie tzw. magnum, która charakteryzuje się wyższymi ciśnieniami gazów prochowych oraz większą liczbą śrucin, czyli większą masą pocisku (energia kinetyczna wylotowa może być większa o 60%).

Naboje kulowe występują w różnych odmianach, lecz kształt większości pocisków zbliżony jest do tzw. konstrukcji Brennekego lub Fostera [19]. W pociskach tych z metalowym korpusem zespolona jest na stałe lekka wojłokowa przybitka, co znacznie polepsza ich właściwości aerodynamiczne. Rowki znajdujące się na powierzchni bocznej tych pocisków w liczbie 12–15 mają istotny wpływ na balistykę wewnętrzną i zużycie lufy, a jak wykazały badania nieznaczny wpływ na ruch obrotowy (stabilizację). Wprawdzie rzadko, lecz można spotkać pociski kulowe w sabocie z tworzywa sztucznego przeznaczone do strzelania z lufy bruzdowanej.

Fabryka Amunicji Myśliwskiej w Pionkach produkuje nabój śrutowy kalibru 12/70 oznaczony LFT 6,8. Pocisk składa się z 12 śrucin ołowianych tzw. loftek o średnicy 6,8 mm, które znajdują się w polietylenowym koszyku. Prędkość śruciny w odległości 15 m od wylotu z lufy wynosi 350 m/s, a jej energia kinetyczna około 120 J. Produkowana jest również w trzech odmianach tzw. amunicja proszkowa kalibru 12/70, w której funkcję pocisku pełni umieszczony w plastikowym pojemniku proszek stalowy wymieszany z talkiem. Nabój proszkowy oznaczony PR PIK 98 ma pocisk o masie około 19 g, który w odległości 2,5 m od wylotu z lufy uzyskuje prędkość 460 m/s. Naboje proszkowe służą głównie do pokonywania niektórych przeszkód, np. wyłamywania zamków w drzwiach; pociski te nie rykoszetują. Produkowana jest też amunicja proszkowa kaliber 12/70 o dodatkowym działaniu łzawiącym, z pewnym dodatkiem gazu obezwładniającego (O – chlorobenzylidenomalonodinitryl). Nabój tego typu oznaczony CS 98 ma pocisk o masie około 19 g zawierający 0,07 g gazu. Pocisk ten w odległości 2,5 m od wylotu z lufy posiada energię kinetyczną wynoszącą 2000 J. Nabój kulowy produkcji FAM Pionki, oznaczony W8 MP kaliber 12/70, przeznaczony jest do rażenia celów żywych oraz niektórych obiektów i pojazdów. Pocisk ołowiany o średnicy 16,4 mm i masie 29 g posiada w odległości 2,5 m od wylotu z lufy prędkość 350 m/s. Energia kinetyczna pocisku w odległości 35 m wynosi 1000 J; można spotkać pogląd, że jest nadmierna, co grozi zbyt dużą głębokością penetracji. Wadą pocisków kulowych jest ich nadmierna zdolność do rykoszetowania.

3.7. Amunicja bezpieczna

Amunicja do broni gładkolufowej ze względu na swoje własności jest wykorzystywana też przez oddziały policji do walk ulicznych z demonstrantami – jej zadaniem jest spowodowanie silnego bólu i krótkotrwałe obezwładnienie przeciwnika, bez konieczności przebijania jego skóry. Penetracja może wystąpić w 2% strzałów, pomimo że nie jest planowanym efektem. Po raz pierwszy w Europie zastosowano amunicję z gumowymi pociskami do broni gładkolufowej w roku 1970 w Irlandii Północnej. Użyte pociski ważyły 150 g, miały prędkość początkową 73 m/s i energię kinetyczną 400 J [2]. „Bezpieczną” odległość strzelania nimi określano na ponad 30 m. Zastosowanie tego rodzaju amunicji spowodowało wówczas u protestujących wiele ciężkich ran, w tym także śmiertelne. Na podstawie takich doświadczeń w roku 1974 zostały one zastąpione pociskami w kształcie walca o wymiarach $\varnothing 38 \times 89$ mm, wykonanymi z polichlorku winylu o masie 142 g i prędkości wylotowej 71 m/s. Jednak w latach 1974–1981 w Irlandii Północnej pociskami tymi zabito 14 osób (9 dzieci i 5 dorosłych), a parę tysięcy osób zostało ciężko zranionych.

Tabela 3.14. Porównanie niektórych parametrów pocisków plastikowych L21A1 i L5A7 [2]

Oznaczenie pocisku		L21A1	L5A7
Masa pocisku, g		96,8–99,2	132–135
Prędkość w odległości 2 m od wylotu z lufy, m/s		minimalna – 69 maksymalna – 76 średnia – 72,5	minimalna – 55 maksymalna – 70 średnia – 62,5
Kształt pocisku		Walec o średnicy 37 mm, promień zaokrąglenia krawędzi części wierzchołkowej 9 mm, stożek ścięty w części tylnej	Walec o średnicy 37 mm, promień zaokrąglenia krawędzi części wierzchołkowej i tylnej 3 mm
Powierzchnia uderzenia, mm ²		284	755
Współczynnik oporu aerodynamicznego		0,24	0,64
Twardość, oIRHD		92–95	85–90
Energia kinetyczna pocisku w odległości (od wylotu z lufy), J	2 m	257	274
	20 m	244	246
	35 m	230	216
	50 m	215	200

W roku 1994 został wprowadzony do użytku pocisk oznaczony L5A7 razem z karabinem HK L104, a w 2001 zastąpił go pocisk oznaczony L21A1 wykonany z polimetakrylanu metylu. Porównanie obu pocisków przedstawione zostało w tabeli 3.14. Prędkość pocisku L5A7 wynosiła 62,5 m/s, a jego masa 133 g. Prędkość pocisku L21A1 wynosi 72 m/s, a masa 98 g. „Bezpieczna” odległość strzelania tymi pociskami wynosi od 20 m do 50 m.

Pociski L21A1 razem z granatnikiem 37 mm HK L104 i celownikiem optycznym wprowadzono, aby zmniejszyć rozrzut i zwiększyć celność oddawanych strzałów. W Izraelu stosowano na przełomie wieków XX i XXI naboje z pociskami metalowymi pokrytymi gumą. W naboju oznaczonym RCC-95 masa pocisku wynosi 49 g, a prędkość wylotowa 130 m/s. Pocisk ten składa się z 3 rdzeni metalowych o średnicy 18 mm pokrytych twardą gumą o grubości 2 mm. Po opuszczeniu lufy pocisk rozdziela się na 3 części, z których każda porusza się po innym torze balistycznym [18]. Zalecana odległość strzału wynosi od 40 m do 70 m. Podobną konstrukcję ma nabój izraelski oznaczony MA/RA 88. W naboju tym pocisk składający się z 15 kulek (rdzeni metalowy pokryty gumą) o średnicy 17 mm i masie 17 g posiada prędkość wylotową 78 m/s. Po wystrzeleniu, w odległości 50 m od lufy, kulki te tworzą obłok o średnicy około 7 m. Zalecana odległość strzału wynosi od 30 m do 80 m.

Znane są też naboje, w których funkcję pocisku spełnia woreczek tekstylny (w różnych kształtach), wypełniony śrucinami ołowianymi. Wadą tego rozwiązania jest możliwość uszkodzenia materiału tekstylnego, czego następstwem jest niekontrolowany ruch śrucin. W USA występują naboje kalibru 12/70 z gumowymi pociskami: pojedynczymi o masie 8,42 g, potrójnymi o masie każdej gumowej śruciny wynoszącej 3 g, składające się z 20 gumowych śrucin, każda o średnicy 7,82 mm i masie 5,83 g. Donośność tych gumowych pocisków wynosi od 3 m do 13 m. Dla nabojów kalibru 12/70 z pociskami cieczowymi (tzw. hydrokinetycznymi) o masie 4,5 g prawdopodobieństwo wystąpienia penetracji jest bardzo bliskie zeru [27].

Polskim odpowiednikiem tego typu amunicji „bezpiecznej” są naboje oznaczone jako „Chrabąszcz”, „Bąk”, „Rój”. W naboju „Chrabąszcz” pocisk z gumy o masie 8 g, w kształcie cylindra o średnicy 17,4 mm, umieszczony jest na przybitce filcowej lub polietylenowej. Produkowane są trzy typy tych nabojów oznaczone symbolami: CHRB 20, CHRB 30 i CHRB 50. Pociski te posiadają odpowiednio prędkość: 94 m/s, 101 m/s i 116 m/s. Liczba znajdująca się za oznaczeniem literowym mówi, w jakiej odległości (w metrach) od wylotu z lufy pocisk będzie miał energię kinetyczną w granicach 30–40 J. Taka wartość energii została określona w wymaganiach postawionych przez policję i według producenta

nawet pocisk z naboju CHRB 50 nie powinien spowodować poważnych obrażeń u osoby, przeciwko której go użyto. W naboju „Bąk” pociskiem jest gumowa kulka o średnicy 17,4 mm i masie 4 g. Prędkość wylotowa została tak dobrana, aby w odległości 20 m od wylotu z lufy pocisk miał energię kinetyczną 25–33 J, co również nie powinno według producenta spowodować poważnych obrażeń u osoby trafionej. Wszystkie wystrzelone pociski powinny być skupione (w odległości 20 m od wylotu z lufy) w kole o średnicy 700 mm. Nabój „Rój” zawiera 15 kulek gumowych o średnicy 7,6 mm i masie jednej śruciny ok. 0,3 g. Śrut umieszczony jest w polietylenowym koszyczku i wylatuje z prędkością 240 m/s (w odległości 2,5 m od wylotu z lufy). W odległości 15 m od wylotu z lufy 50% śrucin mieści się w kwadracie o boku 1 m. Ważnym parametrem jest tzw. pewność rozczalania, czyli zdolność oddzielenia się śrutu od koszyczka, co w przypadku naboju „Rój” następuje w odległości maksymalnie 8 m od wylotu lufy. Naboje „Rój” nie są już używane w policji z powodu małej skuteczności, ponadto w dużym stopniu oprócz chuliganów raniły przypadkowe osoby, co jest niedopuszczalne [15].

Potwierdzeniem dużego zagrożenia dla zdrowia uczestników demonstracji, przeciwko którym użyto amunicję tzw. bezpieczną, jest przypadek zabicia (w Bostonie w USA – w roku 2004) kobiety trafionej w oko, pociskiem o nowoczesnej konstrukcji, wystrzelonym ze strzelby FN 303, na sprężone powietrze. Pociski te nie powinny penetrować celu. Część przednia pocisków o średnicy 12,27 mm i masie 8,5 g wykonana jest z bizmutu, fragmentującego przy zderzeniu z celem. Część tylna wykonana jest z polistyrenu w kształcie walca odpowiednio profilowanego, który może być wypełniony różnymi cieczami na bazie glikolu, np. glikol + 10% OC. W przedstawionym przypadku zabicia osoby zupełnie przypadkowej pocisk trafił i uszkodził lewe oko, a następnie uległ fragmentacji w mózgowicę. Prędkość wylotowa pocisków wynosi około 90 m/s, a energia kinetyczna (przypadająca na jednostkę pola przekroju poprzecznego pocisku) około 25 J/cm^2 , co przedstawiono w tabeli 3.15.

Tabela 3.15. Wybrane parametry balistyki zewnętrznej pocisków do strzelby FN 303 [30]

Odległość od wylotu z lufy	Przy wylocie z lufy	15 m	30 m	50 m
Prędkość, m/s	88,4	82,9	77,7	71,6
Energia, J	33,2	29,3	25,8	21,9

Literatura

- [1] Aponte S.J.: *M249 SAW short range training ammunition (SRTA) bolt adaptor*, 2003 Joint Services Small arms systems Section Annual Symposium, Exhibition and Firing Demonstration, Kansas City, Missouri, 14 may, <www.dtic.mil/ndia/2003smallarms/aponte.ppt>.
- [2] Baton rounds, A review of the human rights implications of the introduction and use of the L21A1 baton round in Northern Ireland and proposed alternatives to the baton round, Northern Ireland Human Rights Commission, by the Omega Foundation, Temple Court 39 North Street Belfast BT1 1NA, 2003, <www.nihrc.org>.
- [3] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1988.
- [4] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [5] Curtis L.: *Introduction to collecting the 9 mm Parabellum (Luger) Cartridge*, Lew Curtis and International Ammunition Association, <<http://www.cartridgecollectors.org/intro9mm/>>.
- [6] Mikko D.: *US Military Green Bullet*, <www.FirearmsID.com>.
- [7] Furmanek W., Kupidura P.: *Charakterystyka nowoczesnej ćwiczebno-pozoracyjnej amunicji strzeleckiej i kierunki jej rozwoju*, „Rozwój i Modernizacja Środków Bojowych”, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, 20–21 września 2001 Skarżysko-Kamienna, s. 107–118,
- [8] Furmanek W., Kijewski J.: *Badania efektów oddziaływania wybranych pocisków strzeleckich na przegrody o różnych właściwościach fizycznych*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 2006.
- [9] Gary's *U.S. infantry weapons reference guide*, <www.inetres.com/gp/military/riifle/762mm_ammo.htm>.
- [10] Hogg I.V.: *Amunicja strzelecka, artyleryjska i granaty*, Bellona, Warszawa 2001.
- [11] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
- [12] Kowalczyk A., Starek W., Lewandowski P.: *Specjalny pocisk pistoletowy „M”*, „Problemy Techniki Uzbrojenia” 2002, 1/(81), Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia.
- [13] MacDougall J., Bernier A.: *Terminal effects of new small arms ammunition*, *Int. Infantry & Joint Services Small Arms System Annual Symposium*, NDIA 17 May 2005, <www.dtic.mil/ndia/2005smallarms/tuesday/macdougall.pdf, www.macdouJ&snctec.com>
- [14] Parks W.H.: *Joint service combat shotgun program*, 1997, <<http://ww.jagcnet.army.mil>>.

- [15] Radziszewski L.: *Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy strzelaniu do wybranych celów*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2007.
- [16] *Shotgun home defense ammunition*, <www.firearmstactical.com/briefs10.htm>.
- [17] Sung Kim: *Frangible ammunition, International Infantry & Joint Services Small Arms Systems Section Symposium, Exhibition & Firing Demonstration 13–16 May 2002, Atlantic City, NJ*, <<http://www.dtic.mil/ndia/2002infantry/kim.pdf>>.
- [18] Szadkowski J.: *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [19] Szyrkowiec A.: *Wszystko o broni myśliwskiej*, Bellona, Warszawa 2001.
- [20] *Terminal ballistics*, <<http://www.angelfire.com/art/enchanter/terminal.html>>.
- [21] Troy T. et al.: *History and basic design of .223 and 5.56 ammunition*, 2004, <<http://www.ammo-oracle.com/body.htm>>.
- [22] Williams A.G.: *The Story of the THV and Monad Bullets*, <www.quarry.nildram.co.uk/THV.htm>.
- [23] Williams A.G.: *Where next for PDWs?*, <www.quarry.nildram.co.uk>.
- [24] Wiśniewski A., Żurowski W.: *Amunicja i pancerze*, Radom 2002.
- [25] Włodarczyk E.: *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej*, WAT, Warszawa 2006.

Strony internetowe

- [26] <<http://pl.wikipedia.org>>.
- [27] <<http://www.alslesslethal.com/12cat.htm>>.
- [28] <<http://www.answers.com/topic/plastic-bullet>>.
- [29] <http://www.arniesairsoft.co.uk/?filnavn=/reviews/m870/m870_review_mi.htm>.
- [30] <<http://www.certops.com/certops/downloads/FN%20303%20ballistic%20testing.pdf>>.
- [31] <<http://www.conjay.com/Security%20Products.htm>>.
- [32] <<http://www.dfafrangible.com/f-home.html>>.
- [33] <<http://www.d3lf.net/p90/ammo.htm>>.
- [34] <<http://www.federalcartridge.com/default.asp?menu=1&s1=3&s2=1&sec=1>>.
- [35] <<http://www.FirearmsID.com>>.
- [36] <http://www.fnhusa.com/contents/ll_303.htm>.
- [37] <<http://www.frfrogspad.com/miscellId.htm>>.

- [38] <<http://www.giwera.pl/artykuly/2003/news15/amuguma.htm>>.
- [39] <http://www.globalarms.net/topics/hp_emb/hp_emb0.htm>.
- [40] <<http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/images/556rvol.gif>>.
- [41] <<http://www.iccammo.com/ballistics.html>>.
- [42] <<http://www.impactguns.com/store>>.
- [43] <http://www.inetres.com/gp/military/infantry/rifle/556mm_amm0.html>.
- [44] <<http://www.military-science.com/military-library/ballistics-ammunition.shtml>>.
- [45] <http://www.mt.com.pl/artykul.php?co=num/09_02/brver.php>.
- [46] <<http://www.municion.org>>.
- [47] <<http://www.reedsammo.com/contact.html>>.
- [48] <<http://www.reloadbench.com>>.
- [49] <http://www.remingtonmilitary.com/images/smallarms/870mcs_10.jpg>.
- [50] <<http://www.saami.org/glossary/display>>.
- [51] <<http://www.steyrscout.org/gelatin.htm>>.
- [52] <http://www.swissmun.ch/e/security/security_text.htm>.
- [53] <<http://www.tacticalshotgun.ca>>.
- [54] <<http://www.thegunzone.com/30cal.html>>.
- [55] <<http://www.thegunzone.com/556v223.html>>.
- [56] <http://www.uprp.pl/wydawnictwa/wyd/bup_00/bup08_00/html/wzo08f.html>.
- [57] <<http://www.winchester.com/lawenforcement/news/newsview.aspx?storyid=11>>.

4 MODELOWANIE RAN POSTRZAŁOWYCH W ŻYWYM ORGANIZMIE

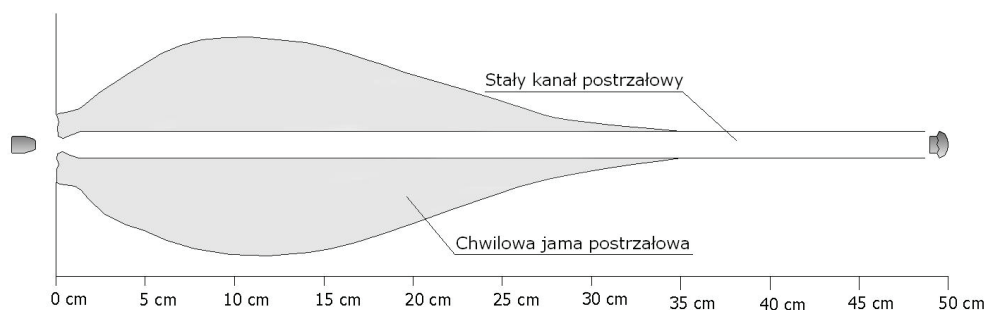
4.1. Modelowanie zdolności pocisku do obezwładniania

Badania prowadzone w ubiegłym wieku wykazały, że rany postrzałowe w około 30% przypadków spowodowane były amunicją strzelecką, w 19% amunicją moździerzową, w 11% minami a w 3% amunicją artyleryjską. Prawdopodobieństwo wystąpienia rany postrzałowej w ręce lub nogi wynosi około 65%. Wielkość rany postrzałowej w przypadku trafienia pocisku w organizm żywy zależy głównie od wartości energii kinetycznej w chwili uderzenia przypadającej na jednostkę powierzchni pola przekroju poprzecznego pocisku prostopadłego do osi symetrii, czyli tzw. energii kinetycznej jednostkowej i prędkości uderzenia. Duży wpływ ma też wartość opóźnienia pocisku przy wnikaniu w cel. Inne parametry mające wpływ na skuteczność działania to kształt i masa pocisku, położenie środka masy, zjawiska związane z lotem pocisku, np. ruchem obrotowym, odchylenie osi pocisku od stycznej do toru oraz współczynnik balistyczny [31]. Za niebezpieczne uznawane są elementy rażące ciało człowieka (przy bezpośrednim uderzeniu) mające energię jednostkową o wartości ponad 19 J/cm^2 . W przypadku gdy, wartość energii tej jest mniejsza od 26 J/cm^2 , to powierzchnia skóry człowieka nie powinna zostać przebita. Należy zauważyć jednak, że uszkodzenie oka występuje już przy wartości energii wynoszącej $4,5 \text{ J/cm}^2$. Przyjmuje się, że w przypadku strzału do niechronionego celu żywego minimalna wartość skuteczna energii jednostkowej konieczna do obezwładnienia wynosi w NATO 150 J/cm^2 , a w Rosji 98 J/cm^2 . Aby zrozumieć mechanizm zranienia przez pocisk, potrzebne są następujące podstawowe informacje:

- jak głęboko pocisk penetruje trafiony cel;
- po jakim torze (prostoliniowym czy krzywoliniowym) porusza się pocisk, jaki ruch obrotowy wykonuje (wokół osi podłużnej czy poprzecznej), w jakiej pozycji przemieszcza się: wierzchołkiem do przodu czy też częścią denną do przodu;
- sposób deformacji pocisku: odkształcony plastycznie czy rozczłonowany na odłamki;
- na jakim odcinku toru i w którym miejscu tworzy się chwilowa jama postrzałowa.

Pocisk broni strzeleckiej oddziałuje na trafiony cel dynamicznie w odróżnieniu od klasycznej broni, np. nóż, spada, która niszczy tkanki tylko tam, gdzie dotrze ostrze [39]. Znaczy to, że nie tylko rozcina, miażdży tkanki czy draży otwór

zostawiając za sobą kanał postrzałowy, ale jest też źródłem zaburzeń przejściowych, które rozchodzą się we wszystkich kierunkach [16]. W otoczeniu toru pocisku poza kanałem postrzałowym tworzy się chwilowa pulsująca jama postrzałowa. Fale ciśnienia o dużej amplitudzie, będące jej przyczyną, mogą powodować rozległe uszkodzenia, np. pęknięcia czaszki, złamanie kręgosłupa, paraliż [38]. Jeżeli naprężenia spowodowane przez fale nie będą przekraczały wytrzymałości tkanek na rozciąganie (około 4 MPa), wystąpią nieznaczne uszkodzenia. W chwilowej jamie postrzałowej typowe pociski pistoletowe wytwarzają naprężenia o wartości mniejszej niż 1 MPa, dlatego też nie powodują dużych zniszczeń tkanek, z którymi nie są w bezpośrednim kontakcie. Podciśnienie wytwarzane przez chwilową jamę postrzałową powoduje też zassanie do rany różnych obcych ciał, co jest przyczyną zakażenia bakteryjnego organizmu rannego. Powstające odkształcenia przekraczają nieraz granicę sprężystości. Tkanki płuc, naczyń krwionośnych, jelit i mięśni są na tyle elastyczne, że mogą ulegać dużemu odkształceniu bez wystąpienia poważniejszych uszkodzeń. Tkanki nieelastyczne, jak np. wątroba, nie wytrzymują takich odkształceń. Wysoka temperatura pocisku powiększa stopień zniszczenia tkanek biologicznych. Dodatkowo po wniknięciu pocisku w organizm jego prędkość obrotowa zmniejsza się, co może spowodować zmianę trajektorii ruchu z prostoliniowej na krzywoliniową. Wystąpienie ruchu obrotowego pocisku względem osi poprzecznej – najczęściej po przebyciu drogi około 120 mm, powiększa stopień destrukcji tkanek. Ruch obrotowy może być również przyczyną fragmentacji pocisku, a powstające wtedy odłamki perforują tkanki w pewnej odległości od jego zasadniczego toru ruchu. W efekcie tych zjawisk za pociskiem powstaje kanał postrzałowy otoczony warstwą rozerwanych tkanek oraz tworzy się jama postrzałowa o objętości wielokrotnie większej od objętości pocisku, co pokazano na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej wytworzonej przez pocisk ołowny kaliber 10,4x38 mm, wystrzelony z karabinu Vetterli z prędkością 414 m/s [8]

W wyniku takiego działania pocisku organizm żywy doznaje szoku nerwowego, a w skrajnym przypadku zostaje unicestwiony. Oddziaływanie pocisku z celem zgodnie z zasadami dynamiki Newtona powoduje, że on sam również ulega znacznym odkształceniom (taki mechanizm oddziaływania wykorzystywany jest w pociskach o tzw. kontrolowanej ekspansji, np. półpłaszczowych).

Na wielkość kanału oraz chwilowej jamy postrzałowej wpływają takie czynniki, jak: miejsce trafienia, kształt, budowa i prędkość pocisku. Pociski tzw. hydrodynamiczne, z zaokrąglonym lub szpiczastym wierzchołkiem rozrywają tkankę tylko na niewielkim kawałku powierzchni czołowej i mogą penetrować ośrodek głębiej. Cząstki tkanki przylegające do powierzchni bocznej pocisku będą stopniowo przemieszczały się na zewnątrz. Pociski z płaskim wierzchołkiem rozrywają tkankę na większej powierzchni niż poprzednie, lecz tracą przy tym szybciej prędkość i wnikają na mniejszą głębokość. Wielkość rany postrzałowej zależy w dużym stopniu od złożonego ruchu pocisku i od sposobu utraty prędkości podczas wnikania w trafiony ośrodek. Pocisk, który ma dużą prędkość uderzenia, lecz podczas wnikania szybko ją traci, np. pocisk grzybkujący, na początku będzie rozrywał ranę o dużej powierzchni, ale wielkość kanału postrzałowego (średnica, głębokość) szybko będzie się zmniejszała. Pocisk o mniejszej prędkości uderzenia, który traci ją wolniej (często jest to pocisk tego samego kalibru, lecz cięższy), wytwarza ranę o mniejszej powierzchni, lecz penetruje głębiej, zostawiając za sobą duży kanał postrzałowy [6].

Niektóre pociski z powodu dużej prędkości lub zaplanowanego kształtu ulegają fragmentacji. Pociski z wymuszoną fragmentacją, np. Glaser Safety Slugs (produkcji USA), są tak skonstruowane, aby ulegały całkowitej fragmentacji przy zderzeniu z dowolną przeszkodą. Ich zadaniem jest nie tylko obezwładnienie przeciwnika, ale i wykluczenie możliwości jego penetracji na wskroś, aby nie zranić osób postronnych, uniknięcie możliwości odbicia się pocisku od przeszkody (tzw. rykoszetu) oraz uniknięcie możliwości penetracji ściany i zranienia osoby znajdującej się po jej drugiej stronie [5]. W tym przypadku nie występuje jedna rana postrzałowa, lecz każdy z odłamków tworzy mały kanał postrzałowy i nieznaczną chwilową jamę postrzałową. Niektóre pociski, np. 5,56x45 mm M193, uderzające w organizm z dużą prędkością, ulegają fragmentacji głęboko w ciele. Odłamki z rozpadającego się pocisku przemieszczają się z dużą prędkością, zwiększając tak efekt, jak i obszar oddziaływania chwilowych jam postrzałowych. W tak zdeformowanym wstępnie ośrodku odłamek główny pocisku o największych rozmiarach i nieregularnym kształcie przemieszcza się na znaczne odległości, dokonując bardzo poważnych obrażeń wewnętrznych. Powstająca w ten sposób rana postrzałowa cechuje się dużymi rozmiarami i znacznym stopniem zniszczeń organów wewnętrznych [4].

Możemy powiedzieć, że trafienie przeciwnika będzie wtedy skuteczne, gdy pocisk:

- zniszczy bądź uszkodzi mózg lub centralny układ nerwowy,
- penetruje na tyle głęboko, że dotrze do głównych organów, naczyń krwionośnych i spowoduje ich zniszczenie oraz wywoła intensywny krwotok.

Rana wejściowa spowodowana przez pocisk penetrujący organizm jest zwykle mniejsza niż rana wyjściowa. Podczas tworzenia rany wejściowej pocisk naciska na skórę znajdującą się zazwyczaj na podłożu sprężystym, czyli mięśniach, co zmniejsza jej odkształcenia [3]. Skóra jest elastyczna i odporna na zranienie.

W wyniku trafienia przez pocisk skóra może zostać przebita i zniszczona, lecz z reguły nie powoduje to konieczności usuwania jej na dużej powierzchni. Prędkość v , przy której następuje przebicie skóry, w dużym stopniu zależy od kalibru pocisku. Skórę o wytrzymałości na rozciąganie 18 ± 2 MPa oraz wydłużeniu przy zerwaniu $65 \pm 5\%$ śrut ołowiany o średnicy 4,5 mm przebija przy prędkości uderzenia 95 ± 5 m/s. Zależność prędkości przebicia od masy pocisku i jego pola przekroju poprzecznego można opisać analitycznie [17]:

$$v = 100\sqrt{33,4/A_p} \quad (4.1)$$

gdzie: A_p – masa śruciny podzielona przez pole przekroju poprzecznego, kg/m^2 .

Natomiast pocisk wychodzący z organizmu często ma zdeformowany kształt lub jego ruch jest niestabilny i uderza częścią denną lub boczną w skórę, która nie jest podparta mechanicznie, co powiększa jej odkształcenie.

Kości w odróżnieniu od innych tkanek organizmu są materiałem kruchym i o większej gęstości [30]. Ich zranienie może nastąpić w wyniku zarówno bezpośredniego uderzenia, jak i fali ciśnienia generowanej przez pocisk, w efekcie czego wystąpi złamanie kości oraz infekcja otaczających ją tkanek. Pociski o małej prędkości uderzenia po trafieniu w kość mogą ulec zatrzymaniu lub mogą ją przebić na wskroś. Zależy to od prędkości i budowy pocisku, a także budowy i położenia kości [23]. Pociski o dużej prędkości uderzenia przebijają kość na wskroś, tracąc przy tym nieznacznie prędkość. Impuls siły działający na pocisk w momencie zderzenia jest z reguły zbyt słaby, aby spowodować jego deformację lub pęknięcie. Penetracja kości przez pocisk spowodować może jednak, że straci on stabilność i zacznie się przemieszczać dalej po krzywoliniowym torze, wykonując złożony ruch obrotowy, co grozi jego fragmentacją. Pocisk trafiający w głowę powoduje trzy podstawowe rodzaje uszkodzeń: pęknięcie czaszki, ranę skupioną i ranę mózgu. Bezpośrednie uderzenie pocisku w głowę zawsze powoduje poważne skutki. Nawet wtedy, gdy ude-

rzenie pocisku następuje w helu stycznie do jego powierzchni, może spowodować poważne zranienie poprzez szok, ciśnienie i kawitację, gwałtowne skrócenie głowy.

W wielu udokumentowanych przypadkach, gdy wystrzelony pocisk nieznacznie „musnął” lub nawet tylko „przeszedł” obok człowieka, spowodowało to krótkotrwałe obezwładnienie organizmu. Zastraszenie, zdziwienie, szok emocjonalny również mogą spowodować, że człowiek na krótko utraci siły oraz orientację [22]. Aczkolwiek w przypadku osób zdeterminowanych i niewrażliwych, będących pod wpływem narkotyków lub innych środków psychotropowych, czynnik ten odgrywa nieznaczną rolę. W starszej literaturze, a zwłaszcza popularnonaukowej, można spotkać też inne teorie obezwładniania [8], np. w wyniku szybkiego przekazywania energii kinetycznej, chwilowej jamy postrzałowej, szoku hydrodynamicznego. Teorie te mają zastosowanie w szczególnych sytuacjach, nie są jednak należycie udokumentowane statystycznie i potwierdzone w badaniach eksperymentalnych.

Ilość energii kinetycznej przekazywanej do trafiającego ośrodka zależy nie tylko od prędkości uderzenia czy masy pocisku, lecz również od jego zachowania się podczas penetracji: czy koziółkuje, czy deformuje się, czy ulega fragmentacji oraz od sił oporu ruchu [42]. Te różnorodne zjawiska są przyczyną zwiększania się wartości pola przekroju poprzecznego pocisku, co powoduje wzrost zarówno sił oporu ruchu, jak i ilości rozpraszanej przez pocisk energii. Bilans energetyczny pocisku penetrującego ośrodek możemy zapisać w następującej postaci:

$$E_r = E_k - E_{\text{def}} - E_{\text{rozp}} \quad (4.2)$$

Energia kinetyczna pocisku w chwili uderzenia w cel wynosi:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.3)$$

gdzie: m – masa pocisku, kg; v – prędkość pocisku w chwili uderzenia, m/s; E_r – energia kinetyczna szczątkowa pocisku, J; E_{def} – energia kinetyczna zużywana do deformacji pocisku, J; E_{rozp} – energia kinetyczna rozpraszana w ośrodku, J.

Część energii kinetycznej jest rozpraszana w penetrowanym ośrodku, a część zużywana przez pocisk do wykonania określonej pracy. Niestabilność ruchu pocisku, jego deformacja i fragmentacja powiększają ilość rozpraszanej energii. Pocisk, który penetruje cel na wskroś lub nie trafi w cel, może uderzyć w przypadkowy obiekt i odbić się od niego. Spowoduje to jego deformację plastyczną oraz dalszy ruch niestabilny w zupełnie przypadkowym kierunku. Pocisk taki popularnie nazywany „rykoszetującym” stanowi duże zagrożenie dla osób postronnych i dlatego

energia kinetyczna szczątkowa, jaką ma po wyjściu z trafionego celu, powinna być jak najmniejsza. Ilość uszkodzonego ośrodka zależy też od wielkości organizmu będącego celem. Liczne badania na świniach potwierdziły, że objętość uszkodzonych tkanek jest wprost proporcjonalna do wielkości rozpraszanej energii. Według teorii Martela [17] zachodzi związek:

$$E_{\text{rozp}} = c_v \cdot V \quad (4.4)$$

gdzie: c_v – stała materiałowa ośrodka, V – objętość stałego kanału postrzałowego.

Zdaniem niektórych naukowców teoria ta zawyża ilość uszkodzonych tkanek, które chirurg powinien wyciąć. Nie ustalono zależności pomiędzy wielkością chwilowej jamy postrzałowej a ilością martwych tkanek. Stopień niebezpieczeństwa tego zjawiska dla człowieka zależy od umiejscowienia rany. Chwilowa jama postrzałowa powodowana jest ciśnieniem wprawiającym ośrodek w ruch. Maksymalna wartość ciśnienia wewnętrznego nie jest raczej skorelowana z ilością zniszczonego ośrodka. W pracy [17] wyznaczono eksperymentalnie zależność (dla pocisku nieulegającego deformacji) pomiędzy ilością energii rozpraszanej E_{rozp} , przypadającej na jednostkę długości kanału postrzałowego wyrażaną w mm, a ilością zniszczonego ośrodka:

$$M_d = 44,575 \cdot E_{\text{rozp}} + 10,319 \quad (4.5)$$

gdzie: M_d – masa zniszczonego ośrodka, g; E_{rozp} – rozproszona energia kinetyczna pocisku, J.

Współczynnik korelacji R tych parametrów jest mały i wynosi tylko 0,54. W tabeli 4.1 przedstawiono współczynniki korelacji R zależności pomiędzy ilością zniszczonego ośrodka a różnymi parametrami balistycznymi.

Tabela 4.1. Współczynniki korelacji pomiędzy ilością zniszczonego ośrodka a różnymi parametrami balistycznymi [17]

Parametr balistyczny	Współczynnik korelacji R
Prędkość uderzenia	0,11
Pęd w chwili uderzenia, $m \cdot v$	0,09
Energia kinetyczna w chwili uderzenia, $0,5 m \cdot v^2$	0,16
Moc uderzenia, $m \cdot v^3$	0,23
E_{rozp} przypadająca na $1 \cdot 10^{-3}$ m długości kanału postrzałowego	0,54
E_{rozp} przypadająca na $1 \cdot 10^{-3}$ s czasu penetracji	0,48

W literaturze istnieje wiele różnych teorii, które usiłują opisać w prosty sposób zdolność pocisku do obezwładniania [17] przy pomocy tylko jednego parametru, posługując się np. jego prędkością, masą, współczynnikiem kształtu lub kalibrem. Pierwsza z tych teorii to tzw. względna moc zatrzymująca (ang. Relativ Stopping Power) pocisku

$$RSP = 17,9 \cdot m \cdot v \cdot A \cdot c \quad (4.6)$$

gdzie: m , v – masa i prędkość pocisku w chwili uderzenia, A – pole przekroju poprzecznego prostopadłego do osi symetrii pocisku, cm^2 ; c – współczynnik zależny od kształtu pocisku (np. $c = 0,9$ dla FMJ RN, $c = 1$ dla LRN, $c = 1,25$ dla WC).

Teoria ta została przekształcona i nazwana teorią mocy zatrzymania (ang. Stopping Power). Zgodnie z tą teorią o możliwości obezwładnienia lub zatrzymania decyduje ilość energii kinetycznej, którą pocisk przekazuje napastnikowi. Ilość energii kinetycznej przekazywanej przez pocisk do ośrodka zastępczego podczas penetracji na drodze pierwszych 150 mm jest miarą mocy zatrzymania

$$Stp = 0,114 \cdot E_{rozp} \cdot A \cdot c \quad (4.7)$$

gdzie: E_{rozp} – energia kinetyczna rozpraszana w żelatynie balistycznej na drodze 150 mm.

W roku 1983 w USA do oceny skuteczności zranienia pociskiem pistoletowym zaproponowano parametr RII (ang. Relative Incapacitation Index), który zależy głównie od wielkości chwilowej jamy postrzałowej oraz kształtu, średnicy pocisku i prawdopodobieństwa zranienia ważnych narządów wewnętrznych. Przyjęto, że im większe są rozmiary chwilowej jamy postrzałowej, tym większy będzie stopień unieszkodliwienia przeciwnika. Podstawą takiej oceny jest błędne założenie, że ośrodek znajdujący się w chwilowej jamie postrzałowej jest niszczone. Pomijano głębokość penetracji i wielkość kanału postrzałowego. Parametr RII nie został zaakceptowany, okazał się bowiem niepraktyczny, ponieważ wymagał przeprowadzenia dużej ilości badań. Inna teoria obezwładniania, tzw. potencjał ranienia mówi, że jest on proporcjonalny do rozproszonej energii i stałej θ [17]:

$$\frac{\Delta E}{\Delta A} = \theta \cdot \frac{E_k A}{m} \quad (4.8)$$

gdzie: ΔE – zmiana wartości energii kinetycznej pocisku, J; ΔA – zmiana wielkości pola przekroju poprzecznego pocisku, m^2 .

Należy podkreślić, że powyższe teorie nie znalazły praktycznego zastosowania.

Ocenę stopnia zranienia można również przeprowadzić na podstawie znajomości takich danych, jak:

- rodzaj broni i jej kaliber,
- rodzaj naboju i rodzaj pocisku,
- odległość, z której oddano strzał,
- rodzaj trafienia: bezpośrednie, rykoszet, poprzez przeszkody,
- rodzaj pokonanych przez pocisk przeszkód,
- zachowana masa pocisku,
- stopień deformacji pocisku,
- długość kanału postrzałowego i jego położenie względem organów wewnętrznych,
- położenie rany wejściowej i wyjściowej,
- maksymalne rozmiary rany wejściowej i wyjściowej na powierzchni skóry,
- masa usuniętych tkanek,
- stopień uszkodzenia kości.

4.2. Model ośrodka zastępczego

Badania eksperymentalne balistyki końcowej pocisków były przeprowadzane na owocach oraz żywych zwierzętach wszystkich gatunków, np. świniach, jeleniach, psach, niektórych ich narządach. Przeprowadzanie prób na żywych organizmach jest niehumanitarne, a ich wyniki są obarczone dużym błędem systematycznym, gdyż budowa anatomiczna i układ nerwowy innych ssaków różnią się znacznie od ludzkiej (niejednorodność budowy tkanek mięśniowych i tłuszczowych świnia powoduje, że dokładność pomiaru głębokości penetracji wynosi 18% – co wynika z tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Głębokość penetracji pocisku w tkankach świnia w różnych ośrodkach zastępczych [43]

Ośrodek zastępczy	Głębokość penetracji, mm
Udziec świeżo zabitej świnia	88 ±16
10% żelatyna w temperaturze 277 K	85 ±4
20% żelatyna w temperaturze 277 K	44 ±2
20% żelatyna w temperaturze 297 K	80 ±2
Mydło szwedzkie w temperaturze 277 K	42 ±3
Mydło szwedzkie w temperaturze 297 K	58 ±4

Badania oddziaływania pocisku na żywy organizm przeprowadza się również w ośrodku zastępczym dla mięśni, skóry, kości, czaszki. Poprawnie dobrany ośrodek zastępczy dla badanego organizmu żywego charakteryzuje się:

- podobną głębokością penetracji pocisku,
- podobnym opóźnieniem pocisku,
- podobieństwem deformacji plastycznej i fragmentacji pocisku,
- podobieństwem w rozpraszaniu energii kinetycznej,
- możliwością pomiaru ilości rozpraszanej energii kinetycznej z zadawalającą dokładnością,
- możliwością oceny rozmiarów chwilowej jamy postrzałowej,
- możliwością pomiaru wymiarów kanału postrzałowego,
- powtarzalnością uzyskiwanych wyników.

Powyższe wymagania oznaczają, że ośrodek zastępczy nie musi mieć dokładnie takich samych biomechanicznych właściwości jak żywy organizm – tabela 4.3. Wystarczy, że wyniki badań można rejestrować i odpowiednio interpretować tak, aby zobrazować zjawiska zachodzące w żywym organizmie.

Tabela 4.3. Możliwości stosowania różnych ośrodków zastępczych [17]

Rodzaj rany	Ośrodek zastępczy
Rana wejściowa	Sztuczna skóra przylegająca do bloku żelatyny lub mydła
Rana wyjściowa	Sztuczna skóra przylegająca do bloku żelatyny lub mydła
Chwilowa jama postrzałowa	Żelatyna jako ośrodek zastępczy tkanek sprężystych, mydło nie rejestruje wielkości kanału postrzałowego
Pęknięcie kości	Kości zalane żelatyną, mydło nie nadaje się
Zranione narządy wewnętrzne	Organy wewnętrzne zalane żelatyną, mydło nie nadaje się
Odłamki pocisku w ranie	Żelatyna jako ośrodek zastępczy tkanek sprężystych, mydło jest niewygodne w użyciu

Z różnych stosowanych ośrodków zastępczych dla mięśni najlepsze wyniki otrzymywane są w żelatynie balistycznej, żelatynie silikonowej, np. Sylgard Dielectric Gel 527 A&B, lub mydle glicerynowym, gęstość ich bowiem jest zbliżona do gęstości organizmu ludzkiego, co przedstawiono w tabeli 4.4. Rzadziej są stosowane ośrodki zastępcze dla skóry, a ich znaczenie jest często niedoceniane. Uwzględnienie obecności skóry zwiększa dokładność pomiarów oddziaływania pocisków, zwłaszcza o małej prędkości, np. przy tzw. rykoszetach. Sztuczne kości wykorzystywane do

eksperymentów wytwarzane są w różnych kształtach. Istnieją wyniki badań wskazujące, że spadek prędkości, szcztątkowa energia kinetyczna, fragmentacja kości i kanał postrzałowy są identyczne zarówno w sztucznych kościach, jak i kościach świni. Do badania ran głowy stosowana jest czaszka zbudowana ze sztucznych kości, wypełniona 10% żelatyną balistyczną i pokryta sztuczną skórą.

Tabela 4.4. Gęstość tkanek ludzkich i niektórych ośrodków zastępczych

Ośrodek	Tłuszcz	Wątroba	Skóra	Mięśnie	Płuca	Kości	Żelatyna	Mydło
Gęstość, g/cm ³	0,8	1,01–1,02	1,09	1,02–1,06	0,4–0,5	1,11	1,03–1,06	0,93

Żelatyna balistyczna jest przezroczysta, co pozwala łatwo wyznaczyć stopień fragmentacji pocisku i rozkład wielkości odłamków. W nieprzezroczystym mydle glicerynowym trzeba do tego celu stosować aparaturę rentgenowską. Zaletą mydła jest niska cena i łatwość odtworzenia wielkości jamy postrzałowej. Mydło jest ośrodkiem niesprężystym, co ułatwia odtworzenie wielkości maksymalnej chwilowej jamy postrzałowej. W rezultacie pomiary w tym ośrodku zawyżają wielkość jamy postrzałowej w porównaniu do organizmów żywych. Mimo iż mydło glicerynowe jest dobrym ośrodkiem zastępczym dla mięśni, możliwości jego wykorzystania do badania balistyki końcowej pocisku i odtwarzania kształtu rany są raczej ograniczone. Często stosowane jest w Szwecji, gdzie stwierdzono, że objętość części początkowej kanału postrzałowego w mydle, o długości 0,14 m, odpowiada ilości zniszczonego ośrodka przez badany pocisk w ludzkim organizmie [1]. Poza tym przyjmuje się, że ilość energii kinetycznej pocisku pochłoniętej przez tkanki organizmu (przy strzale z odległości 100 m) odpowiada średnicy jamy postrzałowej w danym punkcie w mydle.

Żelatyna balistyczna używana jest od 1960 roku jako ośrodek zastępczy symulujący właściwości (gęstość i lepkość) tkanek sprężystych żywego organizmu [24]. Żywe organizmy mają budowę bardzo niejednorodną, co utrudnia interpretację wyników pomiarów. Budowa strukturalna żelatyny jest jednorodna, lecz nie posiada ona naczyń krwionośnych, nerwów i szkieletu kostnego. Początkowo do wyznaczania energii traconej przez pocisk podczas penetracji stosowano żelatynę 20% w temperaturze 287 K, w celu określenia jego zdolności do obezwładniania. W 1984 roku opublikowano [11] wyniki badań balistyki końcowej pocisków w mięśniach żywej świni oraz w żelatynie 10% w temperaturze 277 K. Praca ta przyczyniła się do powstania tzw. modelu Facklera żelatyny balistycznej [12], któ-

ry – pomimo wielu zastrzeżeń – został przyjęty jako ośrodek zastępczy o podobnych własnościach jak mięśnie żywych organizmów. Jedną z najważniejszych zalet żelatyny jest jej przezroczystość, co umożliwia dokładne zbadanie toru pocisku, kanału postrzałowego, chwilowej jamy postrzałowej oraz deformacji pocisku i rozkładu przestrzennego odłamków. Należy podkreślić jednak, że żywe tkanki są bardziej sprężyste i wytrzymałe niż żelatyna. W wielu testach balistycznych potwierdzono, że żelatyna balistyczna (np. Vyse Ballistic Gelatin) symuluje głębokość penetracji pocisku w typowych tkankach żywych organizmów z dokładnością $\pm 3\%$, a wielkość chwilowej jamy postrzałowej z dokładnością $\pm 4\%$. Żelatyna balistyczna powinna być odpowiednio przygotowana i przechowywana oraz bezpośrednio przed pomiarami wykalibrowana. Po wykonaniu pomiarów wskazane jest przeprowadzenie powtórnej kalibracji. Sposób przygotowania, przechowywania żelatyny i interpretacji wyników pomiarów w odniesieniu do żywych organizmów, a w szczególności ludzi, budzi najwięcej kontrowersji i nie został znormalizowany [34].

Po przygotowaniu roztworu żelatyny (10% wagowo) należy ją wlać do formy o wymiarach 150x150x400 mm – do badań pocisków pistoletowych, lub 200x200x500 mm – do badań pocisków karabinowych. W niektórych laboratoriach używają żelatynę 11%, ponieważ nieraz z nieznanych powodów żelatyna 10% nie spełnia próby kalibrowania pociskiem o kalibrze 4,5 mm. W celu uzyskania większej przejrzystości można do roztworu dodać kilka kropel oleju cytrynowego. Po otrzymaniu jednorodnego roztworu żelatyny należy przetrzymać go przez 4 godziny w temperaturze pokojowej. Po zakrzepnięciu formę z żelatyną należy włożyć do lodówki i przetrzymać przez 36 godz. w temperaturze od 273 K do 277 K. Po wyjęciu z formy należy włożyć ją do worka foliowego i szczelnie go zamknąć, aby gęstość żelatyny nie uległa zmianie. W takiej postaci można ją przechowywać w zamrażarce do 6 miesięcy lub 1 tydzień w lodówce. Przed przeprowadzeniem pomiarów balistycznych należy ustabilizować temperaturę bloku żelatyny poprzez przetrzymanie go przez jedną noc w lodówce w temperaturze 277 K, ponieważ prawidłowa struktura żelatyny zależy od jej temperatury. W związku z tym czas trwania próby nie powinien przekraczać 1200 s. W badaniach można stosować kilka bloków żelatyny przyłożonych do siebie powierzchniami czołowymi. Istnieją jeszcze inne sposoby przygotowywania żelatyny, ale niewiele jest informacji na temat wpływu parametrów procesu przygotowania żelatyny na jej własności końcowe.

Kalibrowanie żelatyny polega na oddaniu strzału pociskiem śrutowym i zmierzeniu głębokości penetracji, aby potwierdzić jej odpowiednią strukturę i gęstość. Pocisk śrutowy o kalibrze 4,5 mm wystrzelony z broni pneumatycznej, uderzający z prędkością 180 m/s $\pm 4,6$ m/s w blok żelatyny, powinien zagłębić się w niej na

głębokość 85 ± 8 mm, zgodnie z tym co zaproponowano w pracy [9] na podstawie licznych obserwacji głębokości penetracji pocisków w tkankach żywych organizmów. Żelatyna spełniająca ten trudny warunek nazywa się standardową i można w niej przeprowadzić wiarygodne badania zdolności pocisku do penetracji. Niestety niewiele bloków żelatyny spełnia warunek Facklera o odpowiedniej głębokości penetracji. W standardowym bloku żelatyny balistycznej powinna być spełniona następująca zależność:

$$y = 0,94 \cdot v - 21,92 \pm 5 \quad (4.9)$$

gdzie: y – głębokość penetracji, mm; v – prędkość pocisku w chwili uderzenia w blok żelatyny, m/s.

Powoduje to kłopotliwą sytuację, w której odrzucenie niestandardowych bloków żelatyny jest bardzo drogie, lecz z drugiej strony używanie ich sprawia, że otrzymane wyniki są niewiarygodne. Sytuacja taka przyczyniła się do opracowania metod korygowania wyników pomiarów w niestandardowych blokach żelatyny z dokładnością 3% (np. metoda MacPhersona) [20].

4.3. Testy laboratoryjne balistyki końcowej pocisków

Przy wyborze pocisku jednym z najważniejszych parametrów mających wpływ na obezwładnienie jest głębokość penetracji. Czynnikiem głównym jest zawsze miejsce, w które strzelamy. Zgodnie z danymi zamieszczonymi w literaturze [10] optymalna głębokość penetracji w wykalibrowanym ośrodku zastępczym wynosi od 318 mm do 356 mm. Według norm amerykańskiego biura śledczego (FBI) odnośnie balistyki końcowej pocisk powinien penetrować wzorcową żelatynę balistyczną na głębokość od 305 mm (12 cali) do 457 mm (18 cali). Jeżeli pocisk penetruje płycej, to jest to niewystarczające, a gdy penetruje głębiej, to jest to zadawalające, aczkolwiek może być niebezpieczne [33]. Naturalnie w porównaniu do głębokości penetracji w żelatynie, w tkankach o rzadszej strukturze penetracja będzie większa (np. w płucach) niż w tkankach o gęstszej strukturze (np. w mięśniach). Głębokość penetracji w żelatynie od 318 mm do 356 mm może być niewystarczająca. Pocisk podczas wnikania w ciało systematycznie zmniejsza prędkość w wyniku czego kanał postrzałowy jest coraz mniejszy. Powoduje to, że ilość zniszczonego ośrodka, w końcowym odcinku (o długości od 80 mm do 50 mm) toru balistycznego, jest coraz mniejsza, a efektywna głębokość penetracji wynosi od 241 mm do 305 mm. Badania właściwości ludzkiej skóry wykazały, że – ze względu na dużą wytrzyma-

łość na rozciąganie i sprężystość – może ona ograniczyć głębokość penetracji pocisku w mięśniach: przy wnikaniu o około 51 mm, a przy jego wyjściu o około 102 mm. Zmniejsza to dodatkowo efektywną penetrację. Tak więc (zgodnie z danymi FBI przeciętna grubość tułowia człowieka wynosi 229 mm – 9 cali), aby pocisk przeszedł na wylot przez tułów ludzki, musi penetrować ośrodek zastępczy głębiej niż 356 mm. Ustalenia odnośnie do głębokości penetracji mają zapewnić, że pocisk trafiający w cel pod dowolnym kątem (w najczęściej spotykanych sytuacjach ulicznych) dotrze do głównych organów wewnętrznych i pozostawi za sobą kanał postrzałowy o wystarczająco dużych rozmiarach, aby obezwładnić przeciwnika. Duża różnorodność rzeczywistych sytuacji, w których należy oddać strzał powodujący obezwładnienie agresora, powoduje konieczność opracowania w miarę kompletnego, obszernego zestawu badań dotyczącego balistyki końcowej pocisku. Wyniki tych badań informują użytkownika danego typu amunicji, w jakich sytuacjach stosowanie jej jest skuteczne, oraz pozwalają porównać różne naboje (tego samego lub różnych kalibrów). Jedną z takich prób jest zestaw 8 badań zalecanych przez FBI [13]. Tkanę mięśniową i tłuszczową w testach FBI symuluje 10% żelatyna (np. Kind & Knox 250-A). W każdym badaniu oddawanych jest 5 strzałów. Po każdym strzale zmieniana jest badana przeszkoda i blok żelatinowy. W badaniach używana jest broń typowa.

Test nr 1: *Blok żelatyny bez żadnej osłony*

Do bloku żelatyny balistycznej oddawany jest strzał z odległości 3,048 m (10 stóp) od wylotu z lufy. Celem badania jest sprawdzenie zdolności pocisku do penetracji organizmu. Pociski, które nie spełniają wymogów tego testu, z reguły nie spełniają również wymogów innych badań, bardziej związanych z realnymi sytuacjami. W badaniu tym często uzyskiwana jest największa ekspansja pocisku (wzrost wartości pola przekroju poprzecznego). Badanie to pozwala porównać wyniki testów FBI z badaniami w innych laboratoriach.

Test nr 2: *Blok żelatyny przykryty grubym okryciem tekstylnym*

Blok żelatyny przykryty jest czterema warstwami materiałów symulującymi grubą ubiór zimowy. Pierwsza warstwa to bawełna typu T-Shirt (48 nici na odcinku 25,4 mm). Druga warstwa to bawełna koszulowa (80 nici na odcinku 25,4 mm). Trzecia warstwa to powłoka z flaneli (232 nici na odcinku 25,4 mm) o masie 283,5 g. Czwarta warstwa to bawełna jeansowa (50 nici na odcinku 25,4 mm) o masie 370,5 g. Strzał do tak przykrytego bloku żelatyny oddawany jest z odległości 3,048 m od wylotu z lufy.

Test nr 3: *Stalowa płyta*

Dwie płyty ze stali walcowanej na gorąco, galwanizowane, kwadratowe o grubości 1 mm i powierzchni $232,26 \text{ cm}^2$ (6 cali x 6 cali) oddalone są od siebie o 76 mm (3 cale). W odległości 457 mm (18 cali) za tylną płytą stalową znajduje się blok żelatyny przykryty warstwą letniego okrycia tekstylnego. Strzał oddawany jest z odległości 3,048 m od pierwszej płyty stalowej. Letnie okrycie tekstylne składa się z jednej warstwy materiału bawełnianego typu T-Shirt i jednej warstwy materiału z bawełny koszulowej. Płyty stalowe wykonano ze stali powszechnie stosowanej do produkcji drzwi samochodowych. W próbie badana jest zdolność przebicia przez pocisk najsłabszego miejsca w drzwiach samochodowych i obezwładnienia znajdującego się za nimi przeciwnika.

Test nr 4: *Wewnętrzna ściana budowlana*

Dwie standardowe płyty gipsowo-kartonowe o grubości 12,7 mm i powierzchni $232,26 \text{ cm}^2$ oddalone są od siebie o 89 mm (3,5 cala). Blok żelatyny przykryty jest warstwą letniego okrycia tekstylnego i znajduje się w odległości 457 mm za tylną płytą gipsową. Strzał jest oddawany z odległości 3,048 m do pierwszej płyty gipsowej. Badanie to symuluje zdolność pocisku do przebicia typowej wewnętrznej ściany budowlanej.

Test nr 5: *Drewniana płyta warstwowa*

Blok żelatyny przykryty jest warstwą letniego okrycia tekstylnego i znajduje się w odległości 457 mm za tylną powierzchnią drewnianej płyty warstwowej kwadratowej o powierzchni $232,26 \text{ cm}^2$ i grubości 19 mm (0,75 cala). Strzał oddawany jest z odległości 3,048 m do przedniej powierzchni płyty. Próba ta symuluje przebicie drewnianych drzwi lub desek sosnowych.

Test nr 6: *Szyba samochodowa*

Szyba samochodowa (klejona, a nie hartowana) o grubości 6,35 mm o wymiarach 381x457 mm (15x18 cali) ustawiona jest pod kątem $\pi/4$ do poziomu. Linia celowania odchylona jest w płaszczyźnie poziomej o kąt $\pi/12$ od kierunku jazdy samochodem. Blok żelatyny ustawiony jest w odległości 457 mm za szybą i przykryty jest warstwą letniego okrycia tekstylnego. Strzał oddawany jest z odległości 3,048 m od wylotu z lufy do środka tafli szklanej. Próba ta symuluje strzał oddawany do kierowcy samochodu z jego przedniej lewej strony (nie z naprzeciwka).

Test nr 7: *Blok żelatyny, przykryty grubym okryciem tekstylnym – strzał z odległości 18,288 m*

Próba ta jest powtórzeniem testu nr 2, lecz przy strzale z odległości 18,288 m (20 jardów) mierzonej od wylotu z lufy do bloku żelatyny. Wynik próby pokazuje wpływ wzrostu odległości do celu i konsekwentnie spadku prędkości pocisku na jego zdolność do penetracji.

Test nr 8: *Szyba samochodowa – strzał z odległości 18,288 m*

Badanie to jest w dużym stopniu powtórzeniem testu nr 6, tym razem z odległości 18,288 m, z pozycji naprzeciwko szyby i symuluje strzał do kierowcy samochodu będącego w ruchu.

Oprócz dotychczas opisanych testów każdy nabój jest poddawany badaniu prędkości oraz celności. Z lufy balistycznej i z wybranego typu broni dostępnej w handlu wystrzeliwanych jest po 20 pocisków. Z odległości 22,86 m (25 jardów) oddawane są dwie serie 10-strzałowe z luf balistycznych i z broni dostępnej w handlu, następnie wyznaczany jest średni punkt trafienia. Porównanie wyników badań z luf balistycznych i z danego typu broni pozwala ocenić, na ile dobrze współpracuje nabój z wybranym typem broni. Istnieją jeszcze inne testy (uproszczone i tańsze) balistyki końcowej pocisków. Przykładem może być test INS National Firearms Tactical Institute – USA, składający się z pięciu prób: z blokiem żelatyny, z blokiem żelatyny przykrytym warstwą grubego okrycia tekstylnego, z szybą samochodową, z płytą stalową, z płytą kamienną. W testach tych stosuje się również żelatynę balistyczną 10% typu Kind&Knox 250-A. Przed każdą próbą należy przeprowadzić kalibrację bloku żelatyny polegającą na oddaniu strzału pociskiem śrutowym kalibru 4,5 mm z broni pneumatycznej. Prędkość pocisku powinna wynosić $183 \text{ m/s} \pm 3 \text{ m/s}$, odległość pomiędzy wylotem z lufy a przednią powierzchnią bloku żelatyny – 3,05 m. Pocisk śrutowy powinien wnikać na głębokość od 82,5 mm do 95,2 mm. Głębokość penetracji badanego pocisku w bloku żelatyny powinna wynosić od 229 mm do 381 mm. W każdej próbie oddawanych jest 5 strzałów. Analiza uzyskanych wyników badań w każdym teście jest nieco inna i nie ogranicza się tylko do głębokości penetracji czy wielkości rany postrzałowej. Ważny jest także sposób i miejsce deformacji pocisku, ilość i wielkość odłamków itd. Kryteria oceny wyników każdej z prób nie są tak surowe jak w testach FBI.

4.4. Stabilizacja pocisku

Proces spalania się ładunku prochowego w każdym naboju cechuje się pewną niepowtarzalnością. Dlatego też pociski opuszczające lufę mają zróżnicowane fazy ruchu, a to wpływa na ich celność. Osiosymetryczny kształt i błędy kształtu pocisku oraz drobne, niesymetrycznie rozłożone wady materiałowe i niesymetryczność montażu powodują, że jego środek masy nie pokrywa się z punktem przyłożenia sił oporu aerodynamicznego. Jest to przyczyną rozbieżności rzeczywistej i teoretycznej trajektorii pocisku. Zastosowanie cięższego metalu w części przedniej, a lżejszego w części tylnej pocisku spowoduje, że środek masy pocisku będzie położony bliżej punktu przyłożenia sił oporu aerodynamicznego, co daje bardziej stabilny ruch pocisku. Drgania lufy również mogą zwiększyć kąt odchylenia osi pocisku od toru lotu. Jedną z metod zmniejszenia tych rozbieżności ruchu jest wprowadzenie pocisku w ruch obrotowy, najczęściej poprzez użycie bruzdowanej lufy wokół podłużnej osi symetrii (tzw. stabilizacja obrotowa), z odpowiednią prędkością kątową. Zbyt mała prędkość obrotowa spowoduje koziółkowanie pocisku i może on uderzyć w cel w taki sposób, że jego penetracja będzie nieprzewidywalna. Zbyt duża prędkość obrotowa jest również niekorzystna, gdyż powoduje, że oś podłużna pocisku zachowuje ten sam kierunek w przestrzeni (wykonując ruch precesyjny względem tego kierunku). Na skutek obniżania się stycznej do toru (kierunku wektora prędkości) wykonywałby ruch w rzeczywistości z coraz to większym kątem nutacji. Doprowadziłoby to w efekcie do utraty jego stabilności [14]. Stabilizacja obrotowa (żyroskopowa) pocisku zależy od jego kształtu, rozkładu masy, gęstości penetrowanego ośrodka, prędkości ruchu postępowego i obrotowego. Do oceny stabilizacji pocisku na początkowej części toru można wykorzystać tzw. współczynnik stabilizacji wylotowej (żyroskopowej):

$$S_g = 2 \frac{I_X^2 \omega_X^2}{I_Y \rho d^2 h_p v^2 \pi C_{Y_{ap}}^\delta} \quad (4.10)$$

gdzie: I_X – moment bezwładności pocisku względem osi podłużnej, I_Y – moment bezwładności pocisku względem osi poprzecznej, d – średnica pocisku, h_p – odległość środka masy pocisku od punktu przyłożenia sił oporu aerodynamicznego, ρ – gęstość ośrodka, w którym przemieszcza się pocisk, ρ_{ON} – gęstość atmosfery standardowej na poziomie morza, $C_{Y_{ap}}^\delta$ – pochodna współczynnika aerodynamicznej siły normalnej (siły nośnej) względem kąta, v – prędkość liniowa pocisku, ω_X – prędkość obrotowa pocisku względem osi podłużnej.

Pomiędzy prędkością obrotową a liniową pocisku zachodzi prosty związek, który można zapisać w postaci:

$$\omega_X = 2\Pi \frac{v}{h} \quad (4.10a)$$

gdzie: h – skok bruzd w lufie.

Przykładowo pocisk do naboju 7,62x51 mm NATO wylatujący z lufy, z bruzdami o skoku 305 mm, z prędkością 838 m/s, wykonuje ruch obrotowy z prędkością 17 255 rad/s. Pocisk powinien być stabilny, gdy wartość współczynnika $S_g \geq 1$. W literaturze spotyka się jednak często pogląd, że aby ruch rzeczywistego pocisku był stabilny, współczynnik ten powinien przyjmować wartość większą od 1,3. Dla pocisków kalibru 5,56 mm współczynnik S_g powinien zawierać się w przedziale od 1,5 do 2,0 [32].

Aby wyznaczyć skok bruzd w lufie zapewniający stabilność ruchu pocisku, można skorzystać z następującej (bardzo przybliżonej) zależności:

$$\eta = 150 \text{ d/L} \quad (4.11)$$

gdzie: η – względny skok bruzd wyrażony w kalibrach, d – kaliber, L – długość pocisku.

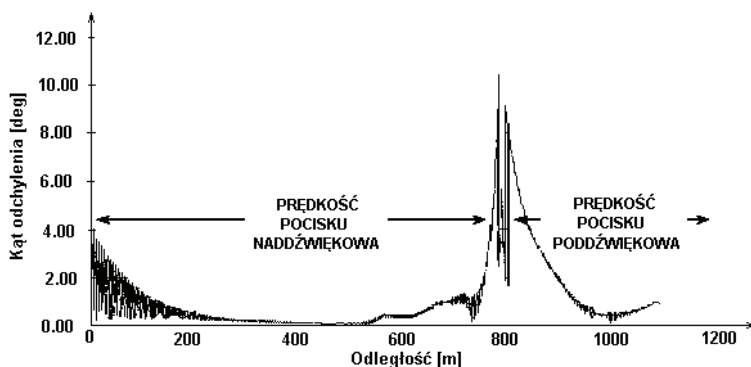
Dokładniejszą zależność uwzględniającą kształt i prędkość pocisku, gęstość ośrodka, w którym się przemieszcza, możemy zapisać następująco [14]:

$$\eta^2 < \frac{I_X^2 \pi^2 \rho_{ON}}{I_Y d^4 h_p 10^3 K_M \left(\frac{v}{a} \right)} \quad (4.12)$$

gdzie: $K_M \left(\frac{v}{a} \right)$ – funkcja aerodynamicznego momentu wywracającego, a – prędkość dźwięku w ośrodku (w powietrzu 333 m/s).

Pozostałe oznaczenia są takie same jak w zależności (4.10). Powyższe zależności (4.10), (4.10a) (4.11), (4.12) określają warunki konieczne, jakie powinny być spełnione, aby pocisk wykonujący ruch obrotowy był stabilny na początkowej (prostoliniowej) części toru balistycznego. Dla zapewnienia całkowitej stabilności na torze balistycznym pocisk powinien spełniać jeszcze warunki stabilności dynamicznej [21]. Przykładowo dla pocisku 9 mm Luger pełnopłaszczowego – współczynnik stabilizacji żyroskopowej $S_g = 22,5$ i jest on również stabilny dynamicznie.

Pocisk 5,56x45 mm M193 jest stabilny statycznie ($S_g = 1,38$), lecz nie jest stabilny dynamicznie. Po wystrzeleniu z lufy z brzdami o skoku 305 mm początkowy kąt odchylenia osi pocisku od toru balistycznego wynoszący około 0,07 rad (4°) zmniejsza się do około 0,03 rad ($1,5^\circ$) w odległości 100 m. Następnie w odległości 500 m od wylotu z lufy wzrasta, przyjmując wartość 0,18 rad ($10,4^\circ$) dla 800 m (rys. 4.2).



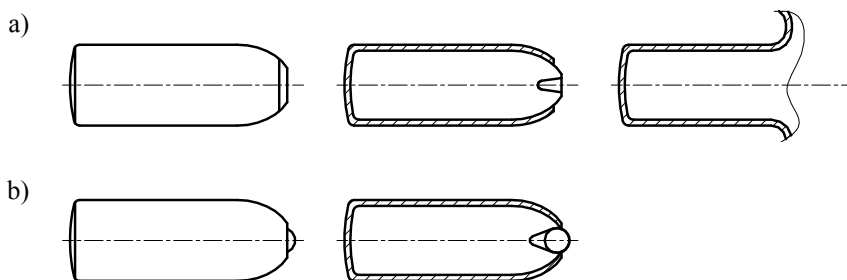
Rys. 4.2. Zależność kąta odchylenia osi pocisku od toru balistycznego w funkcji drogi dla pocisku 5,56x45 mm M193 [1]

Z zależności (4.10) wynika, że prędkość obrotowa i gęstość ośrodka, w którym porusza się pocisk, mają duży wpływ na wartość współczynnika S_g wymaganą do uzyskania stabilizacji. Wpływ gęstości tłumaczy dlaczego pocisk w powietrzu, przy normalnych warunkach atmosferycznych prawie stabilny, traci ją w niskich temperaturach. Pocisk stabilny w powietrzu, aby zachować stabilność podczas penetracji tkanek żywego organizmu (przyjmijmy, że gęstość mięśni wynosi 1040 kg/m^3 – 850 razy więcej niż gęstość powietrza), przy niezmiennych innych parametrach ruchu, wymaga prędkości obrotowej około 500 000 rad/s. Tak duża prędkość obrotowa nie jest raczej możliwa do uzyskania. Oznacza to, że pocisk po przebiciu skóry i wnikięciu w głąb organizmu może szybko stracić stabilizację. Porównując wartości prędkości obrotowej dla tych dwóch ośrodków, widzimy, że zmiana skoku brzd od 356 mm do 178 mm nie rozwiązuje problemu zachowania stabilizacji pocisku po wnikięciu w cel.

W odróżnieniu od większości pocisków pełnopłaszczowych w przypadku pocisków 5,56x45 mm M193 i M855 główny mechanizm ranienia polega na ich fragmentacji. Przy odpowiednio dużej prędkości uderzenia pociski te przebijają skórę i po ułamku sekundy zbaczają z pierwotnego toru lotu. Zachowanie takie jest typowe dla pocisków pełnopłaszczowych z ostrołukową częścią wierzchołkową, posiadających odpowiednio dużą prędkość, ponieważ ich środek masy przesunięty

jest do tyłu i nie pokrywa się z punktem przyłożenia sił oporu aerodynamicznego. Przy odpowiednio dużej prędkości pocisk może zboczyć z pierwotnego toru (w ciekłym gęstym ośrodku) o kąt równy nawet $\pi/2$. Powoduje to ruch złożony (krzywoliniowy i obrotowy) oraz drgania pocisku. Złożony stan naprężeń w pocisku, jak i w otaczającym ośrodku powoduje jego fragmentację. Przemieszczające się w różnych kierunkach z dużą prędkością odłamki tworzą obszerną ranę postrzałową.

Pociski z miękkim lub wklęsniętym wierzchołkiem (półpłaszczyznowe i pełnopłaszczyznowe) jako mechanizm obezwładnienia przeciwnika wykorzystują zamiast fragmentacji kontrolowaną ekspansję. Kontrolowaną ekspansję uzyskuje się np. poprzez pozostawienie w wierzchołku pocisku małej pustki powietrznej. Na rysunku 4.3 pokazano dwie typowe konstrukcje pocisków ekspandujących. Zmiana sposobu ukształtowania wierzchołka zmienia też jego współczynnik aerodynamiczny. Podczas zderzenia pociski te rozpoczynają ekspandowanie od wierzchołka, co zwiększa wartość pola przekroju poprzecznego i zwiększa ilość energii rozpraszanej w ośrodku. W pociskach tych zmiana trajektorii lotu po wnikięciu w organizm występuje w nieznacznym stopniu, ponieważ po zderzeniu z celem wierzchołek pocisku deformuje się, przyjmując kształt grzyba. W wyniku tej deformacji środek masy pocisku przybliża się do punktu przyłożenia sił oporu hydrodynamicznego, co zwiększa stabilność ruchu. O wielkości i sposobie ekspansji decydują rozmiary i kształt pustki oraz zastosowany materiał i konstrukcja pocisku.



Rys. 4.3. Schemat konstrukcji pocisków deformujących się w sposób kontrolowany: a) konwencjonalna pustka, b) pustka z kulą (klinem) wnikającą w rdzeń, który następnie ekspanduje – rdzeń pocisku wykonany jest ze stopów ołowiu lub miedzi [17]

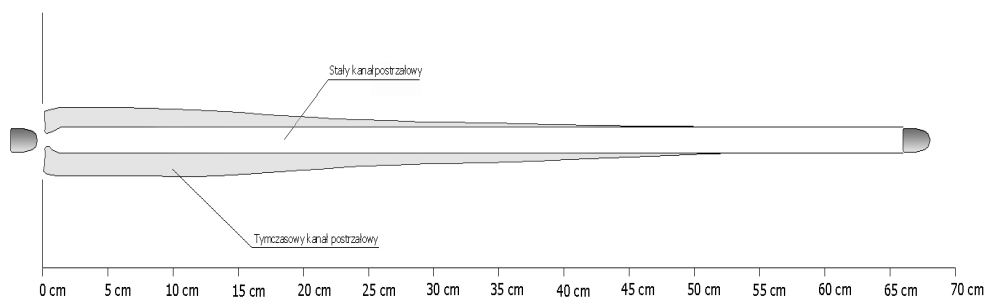
Niektóre bardzo lekkie pociski (np. o masie 2,59 g) JSP i JHP mogą jednak ulegać fragmentacji, ponieważ posiadają bardzo cienki płaszcz oraz bardzo dużą prędkość (około 1158 m/s). W przypadku tych pocisków skuteczność obezwładnienia przeciwnika jest mniejsza, gdyż głębokość penetracji oraz wielkość rany postrzałowej może być mniejsza niż powodowana przez pocisk M193 lub M855.

Pociski HP są tak projektowane, aby spowodować dużą, płytką ranę przy relatywnie małej głębokości penetracji od 127 mm do 152 mm. Zaletą cięższych pocisków JHP i JSP o masach od 4,15 g do 4,47 g jest możliwość kontrolowanej ekspansji przy mniejszych prędkościach. Zachodzi to zwykle w odległościach większych niż 200 m od wylotu z lufy, gdy prędkość pocisku spada poniżej minimalnej wartości koniecznej do wystąpienia fragmentacji. Pocisk pełnopłaszczowy przy tej prędkości może wykonywać ruch obrotowy wokół osi poprzecznej, lecz wydaje się, że wtedy mechanizm kontrolowanej ekspansji jest skuteczniejszym mechanizmem obezwładniania przeciwnika. Wadą tych pocisków jest słaba stabilizacja przy bruzdach o skoku 305 mm i cena 3 razy większa niż pocisku M193. Niektóre z tych cięższych pocisków, prawdopodobnie z powodu dużej długości, zachowują zdolność do fragmentacji jeszcze przy prędkości 640 m/s i odległości około 274 m od wylotu z lufy. Ich wadą jest to, że są znacznie droższe od pocisków M193 a także, że dla uzyskania poprawnej stabilności bruzdy w lufie powinny mieć skok 178 mm. Należy pamiętać, że decydujący wpływ na balistykę końcową pocisku ma jego konstrukcja i jest on znacznie większy niż masa czy prędkość.

4.5. Modelowanie balistyki końcowej pocisków w ośrodkach zastępczych

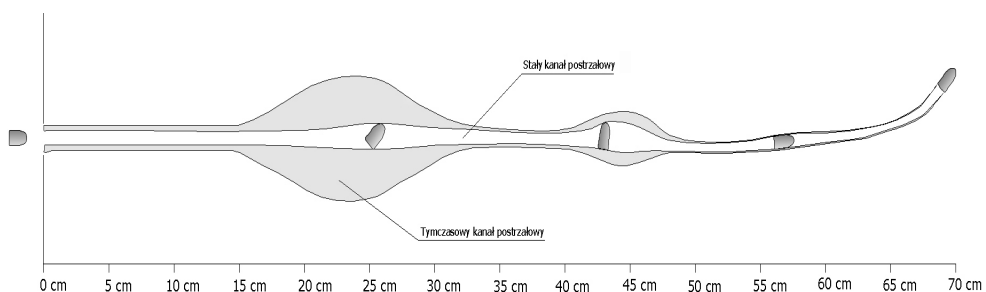
Oddziaływanie pocisku z ośrodkiem podczas penetracji można przedstawić obrazowo i w zrozumiałym sposób, wykorzystując tzw. metodę schematu rany w ośrodku zastępczym. Otrzymane schematy ran wskazują maksymalne zniszczenia, jakie można przewidzieć w elastycznym organizmie żywego stworzenia. Kanał postrzałowy występujący na schemacie rany jest trwałym śladem po pocisku, który wnika, penetruje i niszczy tkanki trąfionego organizmu. Chwilowa jama postrzałowa występująca na schemacie rany przedstawia maksymalne odkształcenia tkanki, jakie wystąpią wokół trajektorii pocisku w ciągu paru milisekund po jego przejściu.

Pocisk pistoletowy lub rewolwerowy, penetrując ośrodek, niszczy tkanki, znajdujące się na jego trajektorii oraz w sąsiedztwie jego powierzchni bocznej. W dalszej odległości od pocisku wytwarzany jest przy tym tymczasowy kanał postrzałowy (chwilowa jama postrzałowa) [38]. Model rany w żelatynie balistycznej spowodowanej pociskiem pistoletowym (najczęściej tor tego pocisku jest prostoliniowy i nie wykonuje on ruchu obrotowego wokół osi poprzecznej), zbudowany jest ze stałego i tymczasowego kanału postrzałowego, co przedstawiono na rysunku 4.4. Wielkość tymczasowego kanału postrzałowego jest nie większa niż 10 kalibrów pocisku.



Rys. 4.4. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .45 ACP (prędkość 265 m/s, masa pocisku 14,9 g) [9]

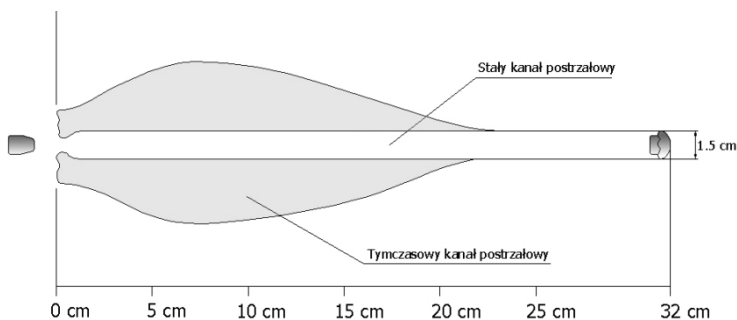
Ilość energii kinetycznej przekazywanej ośrodkowi przez pocisk pistoletowy lub rewolwerowy jest za mała, aby spowodować uszkodzenia dalej położonych tkanek, jakie może wytworzyć pocisk karabinowy o dużej prędkości. Zniszczenia powodowane przez pocisk pistoletowy są więc następstwem występowania dwóch mechanizmów. Pierwszy mechanizm to powstawanie kanału postrzałowego, gdzie zniszczenia tkanek są nieodwracalne, a drugi to chwilowa jama postrzałowa. Kanał postrzałowy będący następstwem penetracji pocisku jest podstawowym mechanizmem powstawania pistoletowej rany postrzałowej. Pocisk pistoletowy musi penetrować ośrodek na tyle głęboko, aby przejść przez główne organy życiowe, a kanał postrzałowy musi być wystarczająco duży, aby zniszczyć ośrodek i spowodować krwotok o jak największej intensywności (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru 9 mm NATO (prędkość 352 m/s, masa pocisku 8 g) [9]

Pociski pistoletowe z powodu małej prędkości po wniknięciu w tkanki organizmu raczej nie ulegają fragmentacji. Jeżeli nie występuje fragmentacja pocisku w organizmie, to zniszczenia tkanek spowodowane chwilową jamą postrzałową mogą być pominięte, często nawet przy pociskach karabinowych o dużej prędko-

ści. W tych przypadkach, gdzie wystąpiła jednak mimo wszystko fragmentacja pocisku, jego odłamki znajdują się w odległości do 0,01 m od kanału postrzałowego, co znacznie ułatwia ich usunięcie.



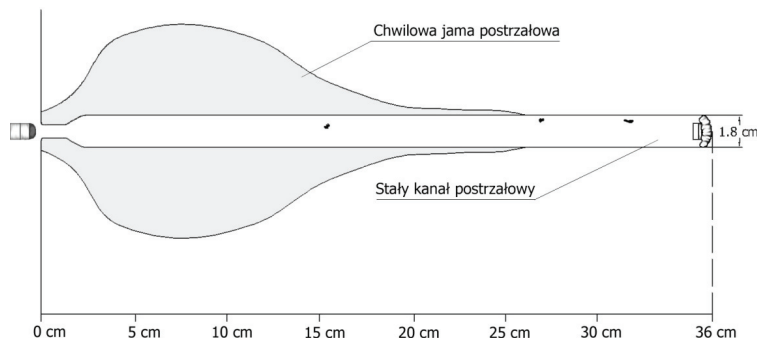
Rys. 4.6. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .38 FBI (prędkość 268 m/s, masa pocisku 10,24 g) [9]

Opracowano wiele rodzajów pocisków pistoletowych, aby zwiększyć efektywność ranienia. Pocisk półpłaszczowy z wklęsniętym wierzchołkiem został tak zaprojektowany, żeby przy uderzeniu w cel ulegał ekspansji. Ekspansji towarzyszy parę zjawisk. Wzrost powierzchni części głowicowej pocisku ma taką zaletę, że ilość uszkodzonego ośrodka na drodze pocisku zwiększa się. Negatywną stroną ekspansji jest zmniejszająca się głębokość penetracji. Może to uniemożliwić pociskowi (zwłaszcza lekkiemu) dotarcie do głównych organów wewnętrznych szczególnie, gdy musi pokonać najpierw odzież i skórę, a następnie warstwę tłuszczu i mięśnie.

Zwiększenie masy pocisku zwiększa głębokość penetracji. Zwiększenie prędkości uderzenia zwiększa głębokość penetracji, ale tylko tak długo dopóki pocisk nie zacznie się deformować – dalszy wzrost prędkości zmniejsza penetrację [36].

Wymiary kanału postrzałowego mogą być zwiększone poprzez użycie ekspandującego pocisku, pocisku o większej średnicy i/lub o większej prędkości – rysunek 4.7. Jednak w żadnym wypadku nie można wybierać pocisku przy założeniu, że spełni on swoje zadanie pod warunkiem, że będzie ekspandował. Pociski ekspandują w ciele ludzkim najwyżej tylko w 60–70%. Uszkodzenie wklęsniętego wierzchołka poprzez uderzenie w kość, szkło lub inną przeszkodę może uniemożliwić ekspansję. Niewystarczająca prędkość pocisku lub zbyt duża odległość do celu będą ograniczały ekspansję. Ekspansja nigdy nie może być podstawą wyboru pocisku, ale jest zaletą, gdy wystąpi. Wybór pocisku musi opierać się przede wszystkim na głębokości penetracji, a następnie na średnicy przed ekspandowaniem. Mając zapewnioną minimalną głębokość penetracji pocisk o większej śred-

nicy, będzie miał więcej zalet przy ocenie efektywności ranienia. Będzie on mógł uszkodzić te naczynia krwionośne, które mniejszy pocisk omija. Większy kanał postrzałowy może ułatwić większy krwotok. Aczkolwiek takie dodatkowe zalety niewątpliwie występują, ich znaczenie trudno jest ilościowo ocenić.



Rys. 4.7. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .357 Magnum JSP (prędkość 425 m/s, masa pocisku 8,1 g, fragmentacja 2,4% [9])

Podobne wnioski wynikają z porównania balistyki końcowej pocisków pełnopłaszczowych kalibru 9 mm Parabellum i .45 ACP. Pociski te mają zbliżoną energię kinetyczną wylotową i zadawałające głębokości penetracji. Pocisk .45 ACP wytwarza kanał postrzałowy o dużej średnicy i dużą chwilową jamę postrzałową. Pocisk 9 mm Parabellum ma większą prędkość wylotową, wytwarza kanał postrzałowy o mniejszej średnicy i większą chwilową jamę postrzałową niż .45 ACP. Porównanie danych archiwalnych z różnych konfliktów z użyciem tych pocisków potwierdza, że obezwładnienie przeciwnika w większym stopniu zależy od wielkości kanału postrzałowego niż wielkości chwilowej jamy postrzałowej.

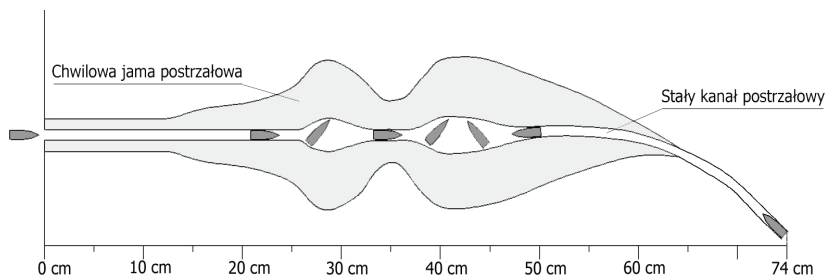
Oddziaływanie pocisków THV na człowieka jest bardzo silne. Wynika to również z budowy pocisku, którego część głowicowa ma kształt wklęsłego ostrołuku, a nie wypukłego, jak w normalnych pociskach. Dzięki temu pocisk jest bardzo szybko wyhamowywany i prawie natychmiast przekazuje całą swoją energię traфionemu człowiekowi. Przy strzelaniu do bloków z plasteliny lub z mydła nabojami 9 mm Parabellum, z pociskami typu THV powstaje otwór o średnicy wejściowej około 80 mm. Mała głębokość penetracji spowodowała, że naboje z pociskami THV nie zostały zaakceptowane.

Badania przekazywania energii kinetycznej pocisku 9 mm SWISS P SeCa do otaczającego ośrodka (w bloku z mydła) wykazały, że ilość ta zawiera się w przedziale od 3000 J/m do 6000 J/m i zależy od odległości, z której oddawany jest strzał. Badania te wykazały też, że głębokość penetracji zwiększa się ze wzrostem

odległości, z której oddawany jest strzał, lecz nie przekracza 270 mm. Średnica pocisku po oddaniu strzału i zdeformowaniu w bloku mydła zwiększa się od 10 mm do 12 mm. Maksymalna średnica jamy postrzałowej wynosi 37 mm.

Analizując oddziaływanie pocisków karabinowych na tkanki żywego organizmu, będziemy porównywali schemat rany w ośrodku zastępczym z uproszczonym opisem rany w brzuchu i udzie.

Pocisk zwykły do naboju rosyjskiego kalibru 7,62x39 mm ma płaszcz ze stali platerowanej mosiądzem, duży stalowy rdzeń oraz tzw. koszulkę z ołowiu pomiędzy nimi. Po wnikięciu do organizmu pocisk ten normalnie przemieszcza się po torze prostoliniowym około 26 cm w pozycji „wierzchołek do przodu”, zanim rozpocznie znacząco zbaczać i odchylać się od poprzedniego toru (rys. 4.8). Typowe trafienie tego pocisku w brzuch człowieka powoduje stosunkowo małe zniszczenia. Kanał postrzałowy w organach wewnętrznych jest podobny do kanału pozostawianego przez pocisk pistoletowy (taki, który nie ekspanduje). Typowa, nieskomplikowana rana w udzie jest taka, jakiej można się spodziewać po pocisku pistoletowym o małej energii kinetycznej – mały postrzępiony otwór wejściowy i wyjściowy oraz stosunkowo małe zniszczenia mięśni.



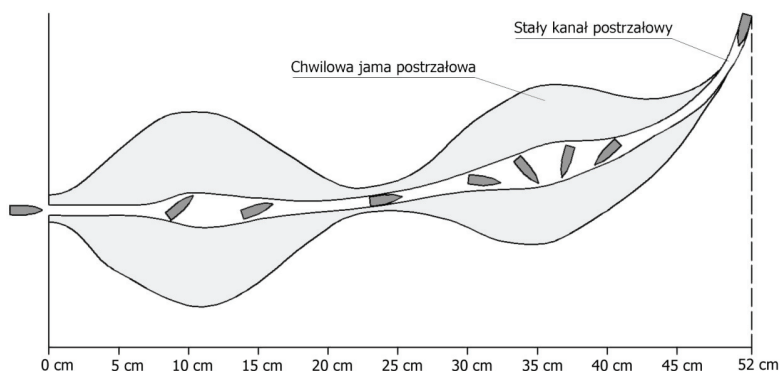
Rys. 4.8. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej dla pocisku zwykłego do naboju rosyjskiego 7,62x39 mm [9]

Pocisk do naboju jugosłowiańskiego kalibru 7,62x39 mm jest również pełnopłaszczowy, rdzeń wykonany jest z ołowiu, lecz nie posiada ścięcia tylnego, co powoduje zupełnie inne oddziaływanie na organizm w porównaniu do pocisku rosyjskiego. Pocisk jugosłowiański przemieszcza się w pozycji „wierzchołek do przodu” tylko około 9 cm, po czym zbacza i odchyła się od toru. Ołowiany rdzeń rozpląszcza się, gdy pocisk rozpoczyna zbaczanie z toru ruchu i następuje wyciskanie przez otwartą podstawę małych ołowianych odłamków. Dobre przybliżenie schematu rany postrzałowej powodowanej przez ten pocisk otrzymamy, gdy na analogicznym schemacie dla pocisku rosyjskiego zakryjemy pierwsze 17 cm drogi.

Pocisk jugosłowiański przemieszcza się przez większą część drogi w ranie brzucha „bokiem do przodu” i może zniszczyć trwale w ten sposób obszar tkanek trzy razy większy od tego, który niszczy analogiczny pocisk przemieszczający się „wierzchołkiem do przodu”. Dodatkowo taki złożony obrotowy ruch pocisku powoduje, że chwilowa jama postrzałowa również jest większa.

Sposób oddziaływania chwilowej jamy postrzałowej na tkanki organizmu może zmieniać się od wybuchowego, co niszczy głównie organy kruche (np. wątrobę, ale może spowodować też poważne uszkodzenie organów sprężystych, np. pęcherza moczowego, gdy będzie wypełniony cieczą), do całkowicie sprężystego, który będzie prawie niezauważalny, np. w jelitach, gdy w chwili uderzenia zawierają mało cieczy. Kształt rany wejściowej i wyjściowej zależy zarówno od energii pocisku, jak i jego położenia w chwili uderzenia w powierzchnie zewnętrzne skóry. Rana może być okrągła, wydłużona, jak i postrzępiona. Rana postrzępiona (gwiazdzista) spowodowana jest oddziaływaniem rozciągającym chwilowej jamy postrzałowej na skórę, przekraczającym granicę jej wytrzymałości na rozerwanie.

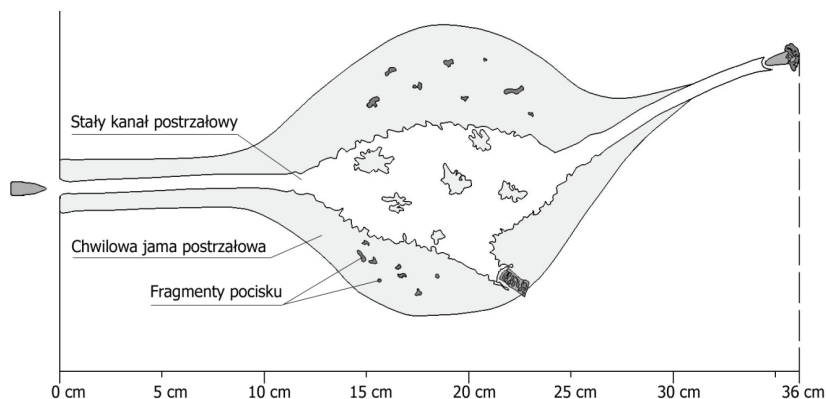
Nabój rosyjski kalibru 5,45x39 mm pełnopłaszczowy ze stali platerowanej mosiądzem, posiada duży stalowy rdzeń, podobnie jak jego poprzednik 7,62x39 mm. Specyficzną cechą konstrukcyjną tego pocisku jest pustka powietrzna w części wierzchołkowej, pomiędzy rdzeniem a płaszczem, o długości 5 mm. Pustka powietrzna przyczynia się do przesunięcia środka masy pocisku do tyłu, co prawdopodobnie powoduje jego bardzo wczesne zboczenie od toru lotu. Dodatkowo przy uderzeniu pocisku w cel, ołowiany rdzeń przesuwany do przodu w tę pustą przestrzeń. Przesunięcie tego rdzenia może nie być symetryczne (występuje równocześnie z deformacją płaszcza), co wyjaśniałoby częściowo dziwną trajektorię drugiej połowy drogi pocisku w organizmie (rys. 4.9).



Rys. 4.9. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju 5,45x39 mm [9]

Taki zakrzywiony tor lotu może wystąpić np. po trafieniu w tułów pod kątem innym niż $\pi/4$, lecz raczej nie zwiększa to właściwości obezwładniających pocisku. Pocisk kalibru 5,45x39 mm przestaje być stabilny już po przebyciu drogi około 7 cm w tkankach organizmu, co przyczynia się znacznie do zwiększenia stopnia obrażeń wewnętrznych wynikających z działania chwilowej jamy postrzałowej. Pociski potrzebujące większej głębokości penetracji, aby zboczyć z toru przy trafieniu w analogiczne miejsce, najczęściej powodują obrażenia wewnętrzne o wiele mniej niebezpieczne dla życia. Rany brzucha i uda od pocisku kalibru 5,45x39 mm powinny być zasadniczo takie same jak te przy pocisku jugosłowiańskim kalibru 7,62x39 mm. Wszystkie omówione dotychczas pociski, które nie ulegają rozcaleniu i uderzają w cel częścią wierzchołkową, obracają się w tkance o kąt $\pi/2$ (lub $3\pi/2$) i kontynuują ruch częścią denną w głąb organizmu. W tym położeniu środek masy przemieszcza się do przodu i pocisk staje się stabilniejszy. Należy pamiętać, że cechy specyficzne ruchu, inne dla każdego pocisku, mają o wiele mniejsze znaczenie niż długość drogi, którą przebywa pocisk w organizmie zanim zacznie „kozyłkować”.

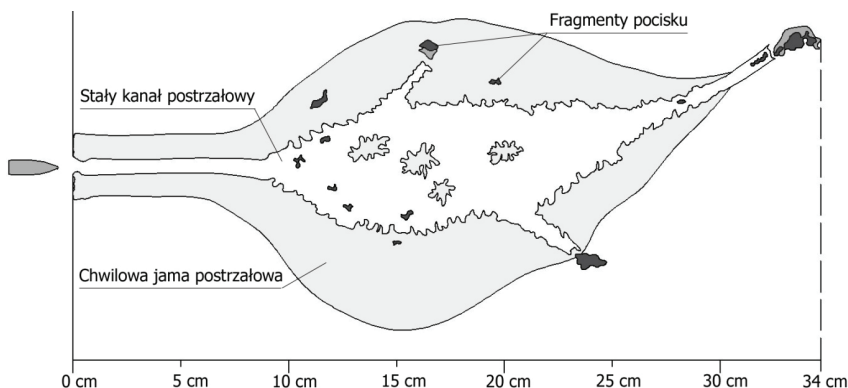
Pocisk do naboju 5,56x45 mm M193 (pełnopłaszczowy) wytwarza kanał postrzałowy o bardzo dużych rozmiarach, czego główną przyczyną jest jego fragmentacja [19]. Jak pokazano na schemacie rany postrzałowej (rys. 4.10), pocisk ten przemieszcza się w tkance w pozycji „wierzchołek do przodu” przez około 12 cm, po czym obraca się o $\pi/4$, rozpląszcza się i pęka w miejscu rowka służącego do jego osadzenia w łusce. Część głowicowa pocisku rozpląszcza się, lecz pozostaje w jednym kawałku zachowując około 60% początkowej masy pocisku. Części cylindryczna i denna pękają na wiele kawałków o nieregularnych kształtach, które penetrują tkankę prostopadłe do trajektorii pocisku aż do głębokości 7 cm (rys. 4.10).



Rys. 4.10. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju 5,56x45 mm M193 [9]

W wyniku penetrowania tkanek przez odłamki zmniejsza się znacznie ich wytrzymałość na rozciąganie i powiększają się odkształcenia trwale powodowane przez fale odkształceń, które są generowane poprzez dynamiczne oddziaływanie pocisku na ośrodek. Efektem tego będzie, że w tkankach, np. jelitach, po uderzeniu pocisku M193 tworzy się kanał postrzałowy o średnicy do 70 mm, a nie o wielkości odpowiadającej kalibrowi pocisku. Rana wejściowa w udzie będzie mała i porazywana. W przedniej części zranionych tkanek zniszczenia będą minimalne. Rana wyjściowa będzie zmieniała się zależnie od tego, jak grube jest udo w miejscu perforacji. W grubym udzie pocisk M193 może ulec fragmentacji i spowodować duże uszkodzenia tkanek i prawdopodobnie jeden lub parę małych otworów wyjściowych obok dużego poszarpanego.

Stopień fragmentacji pocisku zmniejsza się ze wzrostem odległości od wylotu z lufy (zmniejsza się prędkość uderzenia). Pocisk pęka w miejscu rowka służącego do jego osadzenia w łusce, tworząc dwa duże odłamki, gdy odległość strzału wynosi nieco ponad 100 m. Zwiększanie tej odległości w przedziale od 200 m do 400 m powoduje, że pocisk już nie pęka, aczkolwiek stopniowo ulega pewnemu rozplaszczeniu. Tego rodzaju ciągła zależność sposobu deformacji od drogi pozwala określić odległość, z której został oddany strzał. Niewiele cięższy i dłuższy pocisk do naboju 5,56x45 mm M855/SS109 posiada stalowy penetrator jako przednią część rdzenia. Rana w brzuchu lub udzie pozostawiona przez pocisk naboju M855 (rys. 4.11) jest bardzo podobna do rany od pocisku naboju M193.

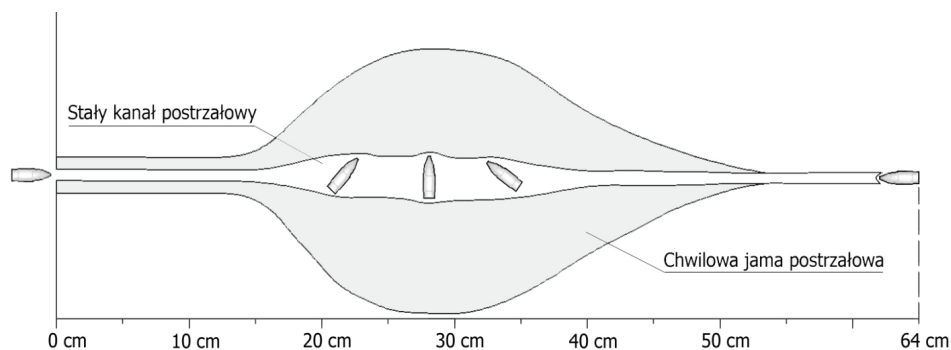


Rys. 4.11. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju 5,56x45 mm M855/SS109 [9]

Dłuższy pocisk naboju M855/SS109, aby być stabilnym w powietrzu, wymaga większej prędkości obrotowej. Konstruktorzy pocisku do naboju SS109 tłu-

maczą, że większa prędkość obrotowa również powoduje dłuższą drogę pocisku w tkance zanim wystąpi zauważalne zboczenie i w ten sposób stopień obrażeń wewnętrznych jest mniejszy. Teza ta jest trudna do udowodnienia, ponieważ nadwyżka prędkości obrotowej ponad tę, która jest niezbędna do stabilizacji w powietrzu, nie ma lub ma mały wpływ na zachowanie się pocisku w tkance. Odwrotna sytuacja, gdy pocisk nie będzie stabilny w powietrzu, może spowodować, że uderzy on w cel powierzchnią boczną i od razu tuż pod powierzchnią celu ulegnie fragmentacji, co wytworzy ranę o dużych rozmiarach i dużym stopniu uszkodzenia organizmu.

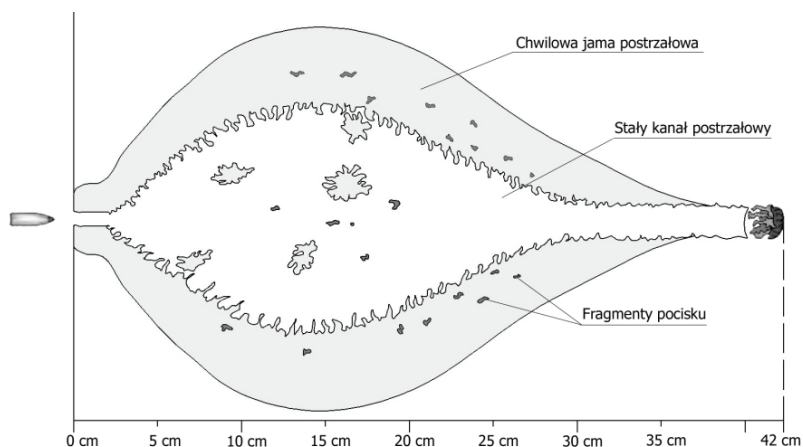
Pocisk do naboju 7,62x51 mm NATO pełnopłaszczowy (M80 w USA) pozostawia ranę postrzałową posiadającą elementy charakterystyczne, obserwowane we wszystkich pociskach wojskowych nieulegających fragmentacji. Pocisk po wnikięciu w tkankę odchyła się najpierw o $\pi/4$, a następnie po zajęciu stabilnej pozycji częścią denną do przodu, kontynuuje resztę drogi z małym zboczeniem lub bez zboczenia (rys. 4.12). W nieskomplikowanej ranie uda tkanki mogą zostać minimalnie zniszczone, gdyż dzięki opływowemu kształtowi przez pierwsze 16 cm drogi pocisk przemieszcza się tak, że wierzchołek jest z przodu. W przypadku rany w brzuch długość drogi penetracji spowoduje zboczenie pocisku z trajektorii oraz dużą chwilową jamę postrzałową i znaczne obrażenia wewnętrzne. Jeżeli trajektoria pocisku będzie tak przebiegała, że obszar chwilowej jamy postrzałowej obejmie wątrobę, to stopień zniszczenia organizmu będzie na tyle duży, że prawdopodobieństwo przeżycia jest niewielkie. Standardy konstrukcyjne tzw. amunicji NATO nie określają, z jakiego materiału ma być wykonany i jaką ma mieć grubość płaszcz pocisku. W pocisku niemieckim płaszcz wykonany jest ze stali i jest platerowany mosiądzem, natomiast płaszcz pocisku amerykańskiego jest mosiężny. W pocisku niemieckim płaszcz w miejscu rowka służącego do osadzenia pocisku w łusce ma grubość 0,6 mm, a w amerykańskim w tym samym miejscu 0,8 mm. Te nieznaczne zmiany konstrukcyjne powodują rozległe różnice w zachowaniu się pocisków w tkankach. Pocisk niemiecki po przebyciu w organizmie drogi około 80 mm obraca się i pęka w miejscu rowka służącego do jego osadzenia w łusce. Spłaszczona część wierzchołkowa zachowuje 56% masy pocisku. Pozostała część staje się odłamkami. Schemat rany po pocisku niemieckim można opisać jako wydłużoną ranę po pocisku do naboju 5,56x45 mm M193 (rys. 4.10), z rozmiarami zniszczeń tkanki większymi o 60% (średnica chwilowej jamy postrzałowej około 0,22 m, średnica kanału postrzałowego około 0,11 m, głębokość penetracji części głowicowej pocisku około 58 cm).



Rys. 4.12. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku amerykańskiego do naboju 7,62x51 mm NATO M80 [9]

Nieskomplikowana rana w udzie od tego pocisku powinna mieć duży otwór wyjściowy z istotną utratą tkanek w pobliżu wyjścia. O ile nie wystąpi fragmentacja pocisku i ominie on główne naczynia krwionośne, leczenie takiej rany nie powinno być skomplikowane. Strzał w brzuch z powodu powiększonego przez fragmentację kanału postrzałowego kończy się tragicznie.

Na rysunku 4.13 pokazano schemat rany w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju .308 Winchester JSP, który też ma kaliber 7,62x51 mm. Pocisk ten ma jednak inną budowę, albowiem jest półpłaszczowy i w związku z tym powoduje znacznie większą destrukcję w trafionym organizmie, głębokość jego penetracji jest jednak mniejsza.



Rys. 4.13. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju .308 Winchester JSP (7,62x51 mm) [9]

Zarówno pocisk do naboju 5,56x45 mm M193, jak i M855 mogą ulegać fragmentacji po wnikięciu w tkanki organizmu. Aby zjawisko to zachodziło, pocisk musi uderzać w cel z wystarczająco dużą prędkością (praktycznie z odległości nie większej niż 200 m). Fragmentacji ulega głównie część cylindryczna i tylna pocisku, może powstać ponad 150 odłamków. Natomiast część wierzchołkowa o dużych rozmiarach może penetrować tkankę do głębokości nawet 0,37 m. Rozmiary rany postrzałowej spowodowanej pociskiem fragmentującym są znacznie większe od rozmiarów rany spowodowanej pociskiem deformującym się w sposób kontrolowany (np. półpłaszczowym). Pocisk naboju M193 w odległości do 100 m trafia lepiej w cel, a następnie szybciej zbacza z toru lotu i ulega fragmentacji na większą ilość odłamków niż pocisk naboju M855. Jeżeli cel znajduje się w odległości od 100 m do 150 m, to lepsze efekty daje pocisk naboju M855. Zostało stwierdzone, że istotna fragmentacja tych pocisków występuje przy prędkości uderzenia w cel większej od 820 m/s. Przy mniejszych prędkościach uderzenia do 760 m/s fragmentacja może, ale nie musi wystąpić. Przy jeszcze mniejszych prędkościach nie należy się spodziewać fragmentacji. Rezultatem trafienia z małymi prędkościami będzie rana o głębokości do 12 cm i średnicy, która może być równa długości pocisku (gdy pocisk obraca się wokół osi poprzecznej – „koziółkuje”). Pocisk naboju 5,56x45 mm M193 wystrzelony z lufy o długości 510 mm ulega fragmentacji uderzając w cel z odległości nie większej niż 200 m, a pocisk M855 z odległości 150 m. Strzelając z lufy o długości 368 mm, pocisk naboju M193 fragmentuje przy odległościach nie większych niż 100 m, a pocisk naboju M855 z odległości 50 m. W przypadku gdy cel znajduje się w większych odległościach oraz przy mniejszych prędkościach uderzenia, równie efektywnym lub nawet skuteczniejszym mechanizmem obezwładniania jest kontrolowana deformacja pocisku (należy stosować cięższe pociski półpłaszczowe z miękkim lub wklęsniętym wierzchołkiem). Przedstawione dane liczbowe są prawidłowe przy temperaturze 296 K, wilgotności 25%, na poziomie morza. Warunki atmosferyczne, w których przeprowadzany jest pomiar prędkości, mają duży wpływ na wartości uzyskiwanych wyników. Różnica temperatur 10 K może powodować w odległości 100 m różnice prędkości do 9 m/s. Badania kanału postrzałowego pocisku naboju M193 w bloku żelatyny wykazały, że w odległości 76 mm od zewnętrznej powierzchni jego pole przekroju poprzecznego powiększa się. Duża ilość odłamków znajduje się w odległości pomiędzy 102 mm a 178 mm. Przeciętnie w odległości pomiędzy 330 mm a 368 mm kończy się penetracja części wierzchołkowej pocisku. Optymalny kształt rany postrzałowej otrzymujemy, gdy pocisk penetruje na głębokość do 30 cm, a największe uszkodzenie tkanek organizmu występuje na głębokości od 10 cm do 30 cm. Można

przyjąć jako zasadę, że trwałe uszkodzenie głównych organów żywej istoty i jej naczyń krwionośnych następuje przy penetracji pocisku na głębokość około 15 cm. W przypadku gdy pocisk wydobędzie się z trafionego celu, zostawiając otwartą ranę wejściową i wyjściową, krwawienie z rany jest większe, niż gdy zostaje on wewnątrz ciała.

Przyczyna dużej wielkości rany postrzałowej spowodowanej pociskiem naboju M193 nie jest wyjaśniona całkowicie. Początkowo przypuszczano, że duży skok (356 mm) bruzd w lufie karabinu M16 powoduje, że pocisk po uderzeniu w organizm staje się niestabilny, obraca się wokół osi poprzecznej i zbacza z pierwotnego toru lotu. Dokładniejsza analiza budowy pocisków o kalibrze 5,56x45 mm wykazała, że każdy pocisk, w którym punkt przyłożenia sił oporu aerodynamicznego nie pokrywa się ze środkiem masy, ma tendencję do wykonywania ruchu obrotowego wokół osi poprzecznej, zwłaszcza po zderzeniu się z żywym organizmem. Dalsza analiza wskazuje, że pociski nabojów M193 i M855 ulegają fragmentacji nie tylko z powodu dużej prędkości uderzenia, ale również ze względu na swoją konstrukcję. Płaszcz z mosiądzu w obu tych pociskach jest cienki i posiada na całym obwodzie w części cylindrycznej mały rowek (moletowany), służący do wzmocnienia osadzenia pocisku w łusce i działający jak koncentrator naprężeń, co w dużym stopniu przyczynia się do ich fragmentacji. Dużym uproszczeniem byłoby jednak przyjęcie założenia, że wszystkie pociski do nabojów typu .223 Remington czy 5,56x45 mm będą ulegały fragmentacji lub będą rozcalały się przy tej samej prędkości uderzenia. Istnieją przykłady pocisków kalibru 5,56x45 mm, które nie ulegają fragmentacji, np.:

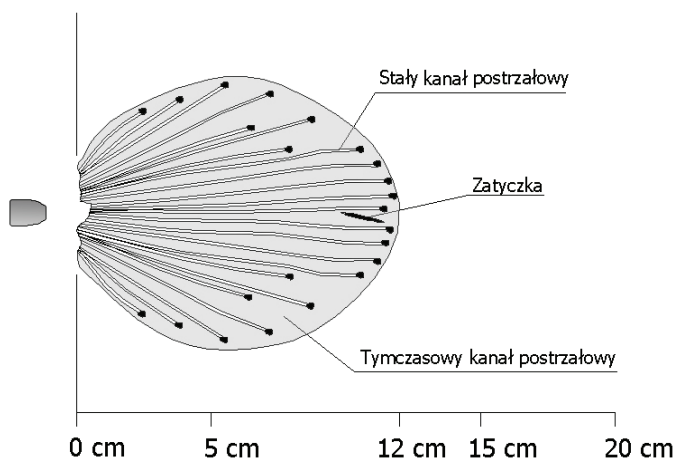
1. Pocisk firmy Sellier @Bellot z Czech posiada gruby płaszcz wykonany z miękkiej stali, platerowany mosiądzem.
2. Pocisk Power Point Winchester (oznaczenie RA223T2) o masie 4,15 g, z miękkim wierzchołkiem i grubym półpłaszczem, nie ma wyciśniętego na obwodzie rowka służącego do osadzania pocisku w łusce (pocisk używany przez policję drogową w stanie Kalifornia – USA).
3. Pocisk M995 AP przeciwpancerny.

Pierwsze pociski pełnopłaszczowe produkowane w latach 1885–1910 miały długość przekraczającą 4 kalibry i okrągły wierzchołek. Mogły one penetrować ośrodek zastępczy w położeniu „wierzchołek do przodu” przez 0,50 m, zanim rozpoczęły istotnie zbaczać z toru. Powodowały one małe zniszczenia w ranie postrzałowej. Nowe naboje wojskowe mają ostrołukowy kształt, co zmniejsza siłę oporu aerodynamicznego. Nowoczesny pocisk kalibru 7,62 mm (z rdzeniem ołowianym) traci na dystansie 467 m 33% prędkości początkowej, a pocisk o tym samym kali-

brze z zaokrąglonym wierzchołkiem 50% prędkości. Ostrołukowe zakończenie części głowicowej pocisku ma duży wpływ na jego zboczenie z toru podczas penetracji w organizmie. Odległość, którą pocisk pokonuje w położeniu „wierzchołek do przodu”, zanim zacznie odchyłać się od toru ruchu, jest krytyczną wielkością dla efektu ranienia. Odległość ta pokazywana na schematach ran jest średnim dystansem, na którym zjawisko to występuje. Masa pocisku i prędkość uderzenia określają tzw. potencjał pocisku, który wyznacza granice zniszczeń tkanki. Kształt pocisku i konstrukcja określają, ile z tego potencjału jest aktualnie wykorzystywane do zniszczenia tkanki.

Pociski wystrzelone z broni PDW penetrują żywy organizm podobnie jak pociski pośrednie. Głębokość penetracji pocisku z naboju 5,7x28 mm SS190 w 10% żelatynie balistycznej wynosi od 25 cm do 30 cm, co jest niezgodne z wymaganiami testów FBI. Budowa wewnętrzna pocisku powoduje, że po zderzeniu z żywym organizmem penetruje on prostoliniowo na drodze około 50 mm, a następnie obraca się wokół osi poprzecznej o kąt Π i tak kontynuuje ruch. Pocisk nie ulega fragmentacji. Taki ruch pocisku powoduje duże obrażenia wewnętrzne oraz zabezpiecza przed możliwością niepożądanego przebicia na wskroś, nawet przy strzale z odległości 10 m. Należy zaznaczyć, że zdolność tego pocisku do obezwładniania żywego organizmu jest przez wielu ekspertów oceniana negatywnie. Wystrzelony z odległości 100 m przebija cel modelowy (płyta z tytanu oraz 20 warstwowy kompozyt z Kevlaru) i zachowuje energię 65 J. Pocisk naboju kalibru 4,6x30 mm również nie wytwarza dużej stałej rany postrzałowej. Wystrzelony z pistoletu maszynowego HK MP7 przebija cel modelowy z odległości 100 m, zachowując energię 115 J, co pozwala mu perforować blok żelatyny balistycznej na drodze 150 mm.

Pociski z wymuszoną fragmentacją po uderzeniu w przeszkodę rozczalają się bardzo szybko na bardzo dużą ilość odłamków o masie mniejszej od 0,012 g, co zapewnia optymalny transfer ich energii kinetycznej do celu i powstaje duża, lecz płytka rana postrzałowa. Charakteryzują się one małą głębokością penetracji i wtedy raczej nie stanowią zagrożenia dla życia trafionego człowieka [9]. Na rysunku 4.14 pokazany jest schemat rany postrzałowej od pocisku .357 o masie 5,2 g i prędkości 544 m/s, wyprodukowanego przez firmę Glaser Safety Slug z USA. Głębokość penetracji wynosi 120 mm. W przypadku gdy pociski te nie ulegną fragmentacji, głębokość ich penetracji może być znaczna i mogą wtedy stanowić poważne zagrożenie dla życia.



Rys. 4.14. Schemat rany postrzałowej od pocisku fragmentującego .357 Glaser Safety Slug [9]

Występują również pociski, w których po zderzeniu z celem, tylko część wierzchołkowa ulega fragmentacji na dużą ilość odłamków, a część tylna pozostaje w całości i penetruje głęboko ośrodek [28]. W przypadku pocisku .45 Auto HP odłamki części wierzchołkowej penetrują na głębokość około 150 mm, a część tylna o masie 5 g na głębokość około 360 mm. Średnica rażenia odłamków wynosi około 120 mm. Pocisk w ten sposób szybko przekazuje ośrodkowi swoją energię kinetyczną, jak i penetruje na zadawalającą głębokość.

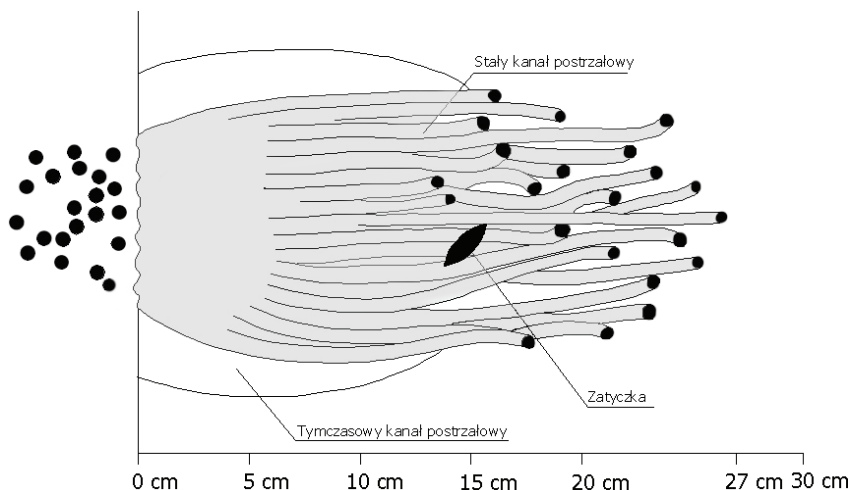
Pocisk śrutowy kalibru 12/70 Nr 00 posiada energię kinetyczną wylotową prawie równą energii pocisku karabinowego 7,62x63 mm Springfield. Energia kinetyczna pocisku kulowego o masie 26 g i prędkości 488 m/s wynosi około 3400 J, a więc jest jeszcze większa [27]. Podstawowym mechanizmem ranienia przez pociski wystrzeliane ze strzelb gładkolufowych, charakteryzujące się małymi lub co najwyżej średnimi prędkościami, jest niszczenie tkanek w stałym kanale postrzałowym, który pozostaje w organizmie po penetracji. Powstające również tymczasowe jamy postrzałowe nie wpływają w znaczący sposób na wielkość obrażeń. Pocisk o małej prędkości, lecz dużych gabarytach będzie niszczył dużą ilość ośrodka, podczas gdy pocisk mały o dużej prędkości i o takiej samej energii kinetycznej będzie odkształcał większą objętość ośrodka, lecz ilość zniszczonych tkanek będzie mniejsza. Jeżeli zniszczone części ośrodka będą zawierały naczynia krwionośne, to wynikiem tego będą poważniejsze konsekwencje, niż gdy te same naczynia zaabsorbują taką samą ilość energii podczas odkształcania przez tymczasową jamę postrzałową. Potencjał ranienia pocisku śrutowego można ocenić stosując dwie metody. W pierwszej możemy przyjąć, że pocisk ma masę równą sumie

mas śrucin i wszystkie one (skupione w kole o średnicy równej średnicy lufy) uderzają w cel z jednakową prędkością w tej samej chwili, co da nam wartości zawyżone. Zakładamy bowiem, że wszystkie śruciny w tym samym momencie trafiają w cel. W drugiej metodzie przyjmujemy, że wszystkie śruciny trafiają niezależnie w cel w różnych momentach czasowych i przekazują mu energię kinetyczną w obszarze o powierzchni zależnej od odległości od wylotu z lufy [29]. Taki sposób obliczania potencjału ranienia powoduje zaniżanie wartości. Uwzględniając dodatkowo gwałtownie zmniejszającą się prędkość oraz rozproszenie śrucin, można zrozumieć, dlaczego odległość celu od wylotu z lufy jest tak ważna. Wielkość rany postrzałowej od pocisku śrutowego w bardzo dużym stopniu zależy właśnie od odległości celu od wylotu z lufy [37]:

- przy odległości mniejszej od 2 m – ze względu na dużą energię kinetyczną wylotową pocisk śrutowy penetruje głęboko, na powierzchni rany widać ślady działania gazów prochowych o bardzo wysokiej temperaturze; rana na powierzchni i wewnątrz celu wygląda podobnie jak od pojedynczego dużego pocisku, a dodatkowo przybitka penetruje cel;
- przy odległości od 3 m do 6 m – pocisk śrutowy penetruje w dalszym ciągu głęboko, lecz można zauważyć na powierzchni rany ślady działania gazów prochowych oraz ślady pojedynczych śrutów poza głównym obszarem rażenia, wewnątrz celu rana wygląda podobnie jak od pojedynczego dużego pocisku;
- przy odległości większej od 6 m – głębokość penetracji zmniejsza się, lecz zwiększa się całkowita powierzchnia rany, ponieważ każdy śrut działa jak niezależny pocisk (o małej prędkości i masie).

Zespolony pocisk śrutowy po opuszczeniu lufy przemieszcza się przez pewien czas razem z tzw. przybitką (filcową lub z tworzywa sztucznego), która oddziela śruciny od gazów prochowych, co pozwala uzyskać większą celność. Powoduje to jednak, że „przybitka” może penetrować trafiony obiekt (gdy cel znajduje się w małej odległości od wylotu z lufy). Na rysunku 4.15 pokazany jest schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po oddaniu strzału z naboju śrutowego kalibru 12 zawierającego 27 śrucin. Strzał oddano z odległości 3 m, prędkość śrucin wynosiła 412 m/s, a ich łączna masa – 35 g. Średnica koła, w którym skupiają się wszystkie śruciny, wynosi około 80 mm. Śruciny mają małą masę i szybko tracą prędkość, co powoduje, że nie penetrują głęboko. Każda śrucina jest przyczyną powstania małej rany postrzałowej (stałej i chwilowej jamy postrzałowej). Naczynia krwionośne pomiędzy poszczególnymi kanałami mogą również ulec zniszczeniu [7], zwłaszcza na drodze pierwszych 150 mm, gdzie część stałych kanałów

postrzałowych jest połączona, głównie w wyniku wzajemnego oddziaływania chwilowych jam postrzałowych. Głębokość penetracji wynosi do około 250 mm.



Rys. 4.15. Model rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po oddaniu strzału z naboju śrutowego kaliber 12/70 [9]

Zastosowanie śrutu o większej twardości lub większych rozmiarach umożliwia zwiększenie głębokości penetracji do 419 mm dla naboju Remington Nr 1, a nawet do 566 mm dla naboju Federal Classic Nr 00. W niektórych nabojach, np. Remington Nr 00 Managed Recoil, śruciny po wyjęciu z żelatyny były nieznacznie zdeformowane.

Na podstawie wyników testów balistycznych przedstawionych w tabeli 4.5 można powiedzieć, że nie wszystkie pociski kulowe penetrują głębiej niż pociski śrutowe. Głębokość penetracji śrucin zależy nie tylko od ich wielkości, lecz również od budowy całego naboju. Pociski breneka uznawane są za mające lepsze parametry penetracyjne niż inne pociski kulowe o dużej prędkości. „Brenki” wykonywane są z twardszych materiałów, co polepsza stabilność kształtu, w porównaniu do miękkich ołowianych pocisków typu fostera. Przy dużych prędkościach pociski typu fostera ulegają dużej deformacji, co znacznie zmniejsza głębokość penetracji. Jama postrzałowa spowodowana penetracją pocisku breneki jest dłuższa i bardziej rozbudowana niż dla pocisku fostera.

Głębokość penetracji pocisków kulowych fragmentujących wynosi 191 mm i jest za mała, aby mogły być stosowane w celach ofensywnych. Natomiast posiadają one ograniczone zdolności do rykoszetowania, co jest dużą zaletą.

Tabela 4.5. Wybrane parametry balistyki końcowej w bloku żelatyny balistycznej 10% o wymiarach 229x229x483 mm, pocisków do nabojęw kaliber 12/70 wystrzelonych z odległości 2,74 m ze strzelby gładkolufowej Remington 870 o długości lufy 457 mm [44]

Oznaczenie naboju	Długość stałego kanału postrzałowego, mm	Szerokość jamy postrzałowej, mm	Ilość śrucin w pocisku	Możliwości zastosowań bojowych
Nr 00 buckshot Federal Classic	566	od 13 do 406	9	tak
Nr 00 buckshot Remington Express	533	od 13 do 419	9	tak
Nr 00 buckshot Remington Managed Recoil	521	od 51 do 267	8	tak
Nr 00 buckshot Federal Magnum	508	od 25 do 305	12	tak
Nr 1 buckshot Remington	419	od 25 do 241	16	tak
Nr 4 buckshot Federal Premium Magnum	394	od 13 do 254	34	tak
Nr 4 buckshot Federal	356,8	od 25 do 241	27	tak
BB Remington Express Lead	279	od 13 do 216		tak, w małych odległościach
Nr 1 birdshot Kent Tungsten Matrix	229	od 64 do 178		tak, w małych odległościach
Nr 2 birdshot Remington Express	241	od 25 do 216		tak, w bardzo małych odległościach
Nr 4 birdshot Remington Heavy Dove	165	od 0 do 152		nie
Nr 5 birdshot Kent Tungsten Matrix	195	od 0 do 165		nie
Nr 8 birdshot Remington Heavy Dove	114	od 25 do 76		nie
Kulowy Remington Reduced Recoil	762	od 25 do 394	1	tak
Kulowy* Remington Reduced Recoil	699	od 127 do 343	1	tak
Kulowy, Brenneke R10	648	od 13 do 406	1	tak
Kulowy Winchester Foster	432	od 13 do 394	1	tak
Kulowy Int. Frangible slug	191	od 25 do 191	1	nie

* strzelba z lufą o długości 356 mm.

Policjanci i żołnierze do walki z demonstrantami często stosują amunicję tzw. bezpieczną, wystrzeliwaną z broni gładkolufowej [2]. Amunicja taka powinna powodować silny ból i krótkotrwale obezwładnienie, ale równocześnie minimalne komplikacje medyczne wśród trafionych osób [15]. Istniejące modele teoretyczne, opisujące rany powodowane przez amunicję bezpieczną, są poprawne co najwyżej dla niektórych pocisków i miejsc trafień [35]. Wynika to z trudności uwzględnienia wszystkich parametrów związanych z pociskiem oraz żywym organizmem, w który trafia. Dlatego też przyjmuje się, że nabój bezpieczny przy strzale z odległości 10 m od wylotu z lufy nie powinien spowodować ugięcia większego od 42 mm powierzchni bloku żelatyny balistycznej. Dla zapewnienia jednak skuteczności działania tych nabojów, ugięcie to nie może być mniejsze od 5 mm (przy zachowaniu takich samych warunków pomiaru). Ważniejsze parametry pocisku to energia kinetyczna i pęd w chwili trafienia, czas trwania uderzenia, pole przekroju poprzecznego i jego kształt oraz własności fizyczne materiału, z którego został wykonany. Stopień zranienia człowieka zależy też od jego wieku, masy, płci, stanu zdrowia oraz miejsca, w które trafił pocisk [40]. Z badań przeprowadzonych w różnych laboratoriach wynika, że organem szczególnie wrażliwym na uderzenia takimi pociskami jest wątroba. Poważne zranienie wątroby może wystąpić w takich sytuacjach częściej (przy mniejszych prędkościach uderzenia), niż ma to miejsce dla płuc lub głowy. Użytkownicy amunicji bezpiecznej szkoleni są, aby strzelać z odległości nie mniejszej niż 20 m w tułów lub kończyny przeciwnika. Często jednak, z różnych względów, nie jest ona używana poprawnie [41]. Z powodu niezadawalających parametrów balistycznych amunicja ta nie jest celna. Niezależne badania potwierdziły, że pociski te są niebezpieczne dla ludzi, mogą powodować groźne rany i dlatego wymagają znacznej poprawy. Zmiany wymaga zarówno konstrukcja, jak i materiał, z którego są wykonywane, a nie tylko ich masa czy też prędkość. Pociski plastikowe są szczególnie niebezpieczne, gdy trafiają w głowę lub szyję. Powodują one cięższe obrażenia czaszki i mózgu niż pociski gumowe. Większa prędkość pocisków L21A1 stwarza niebezpieczeństwo wystąpienia rykoszetów (pociski są lżejsze, twardsze, sztywniejsze). O niebezpieczeństwie wynikającym ze stosowania amunicji z plastikowymi pociskami świadczą także światowe statystyki. Ryzyko doznania śmiertelnych obrażeń od wystrzelonych pocisków plastikowych ocenia się w piśmiennictwie na 1:160 000–1:18 000, a dla pocisków gumowych na 1:4000. Z kolei prawdopodobieństwo doznania poważnych uszkodzeń ciała ocenia się na 1:800 wystrzelonych pocisków. Przykładowo w ciągu 6 lat tylko w dwóch szpitalach okulistycznych w Izraelu odnotowano obrażenia oczu u 567 osób, powodujące w 86 przypadkach konieczność enukleacji gałki lub inne

trwale poważne ograniczenie widzenia (143 oczy utraciły poczucie światła). Pociiski wykonane z metalu pokrytego warstwą gumy mogą spowodować zarówno rany powierzchniowe, jak i mogą penetrować w głąb trafionego organizmu. Badania przeprowadzone przez izraelskich lekarzy podczas rozruchów społecznych w Hajfie, Nazarecie, Umm-El-Fahem w roku 2000 [18] wykazały, że tylko około 60% pacjentów miało rany powierzchniowe, a w pozostałych przypadkach pociski penetrowały w głąb organizmu. Więcej niż jedną ranę miało 13% pacjentów. Badania te wykazały również, że 30% ran objęło głowę, szyję lub twarz. Rany w głowę są zawsze niebezpieczne i były bądź powierzchowne (w paru przypadkach wywołały wstrząs mózgu), bądź też powodowały pęknięcia kości lub złamania podstawy czaszki. Rany w twarzy, a zwłaszcza w oku są również bardzo niebezpieczne i często powodują utratę wzroku – w dwóch przypadkach spowodowały śmierć. Trafienie w klatkę piersiową (19% ran) w 50% powodowało ranę powierzchniową, a w 50% pocisk penetrował w głąb, powodując poważne uszkodzenie organizmu. W 6% rany były w brzuch, ale tylko w dwóch przypadkach pocisk penetrował w głąb. W 8% rany były na plecach. Jeden pacjent trafiony w nogę zmarł, w wyniku komplikacji pooperacyjnych.

4.6. Dyskusja etyczna

Ze względów etycznych nie jest uzasadnione, aby rozwój broni i amunicji sprowadzał się głównie do spowodowania jak największych obrażeń w trafionym organizmie. Większa zdolność pocisku do natychmiastowego obezwładnienia musi spowodować większą destrukcję trafionego organizmu, zwiększając prawdopodobieństwo zabicia lub trwałego kalectwa. Zniszczone komórki utracone są na zawsze. Rana postrzałowa o dużych rozmiarach zwiększa możliwość zniszczenia lub uszkodzenia głównych organów wewnętrznych, co często jest przyczyną śmierci głównie poprzez gwałtowną utratę krwi. Uszkodzenie centralnego układu nerwowego często powoduje inwalidztwo. Także uszkodzenia innych narządów, mniej ważnych, mogą być nieodwracalne. Osoba, której organizm doznał takich zniszczeń nigdy już nie powróci do normalnego życia w społeczeństwie. W szczególności pociski ekspandujące lub ulegające fragmentacji niszczą bardzo dużo tkanek, których w wielu przypadkach nie można zregenerować. Często rany postrzałowe nie stanowią zagrożenia dla życia, gdyż nie zawsze pocisk zniszczy główne naczynia krwionośne, a spadek ciśnienia krwi zmniejsza intensywność krwawienia i tkanki otaczające kanał postrzałowy zmniejszają w dużym stopniu krwawienie. Statystyczny strzał z pistoletu powoduje śmierć w 5%, a w 15% poważne uszko-

dzenie organizmu. Oszacowano, że współczynnik przeżycia po strzeleniu w serce wynosi 50%. Nowoczesna broń i amunicja policyjna jest tak wybierana, żeby dużego i mocnego, fanatycznego i nieprzewidywalnego napastnika obezwładnić. W związku z tym jej zdolność do obezwładniania może być o wiele za duża dla mniej niebezpiecznych, szczególnie młodych napastników, tu ryzyko ich poważnego zranienia jest większe. W niektórych państwach ze względów etycznych standardowym wyposażeniem policji są tylko pociski pełnopłaszczowe, np. w Niemczech. Zastępowane są one jednak coraz częściej, nawet w Europie, pociskami ekspandującymi, a w wielu stanach USA policjantom nie wolno używać innych pocisków. W wojsku używane są pociski pełnopłaszczowe. Tłumaczy się to istotną różnicą moralną pomiędzy żołnierzem, który walczy za swój kraj, nawet gdy jest naszym wrogiem, a przestępcą, który atakuje innych dla osiągnięcia prywatnego celu. W ciągu ostatnich 150 lat podejmowano wiele międzynarodowych dyskusji, aby określić dopuszczalne zasady używania broni i jej skutków dla organizmu ludzkiego. Dokumenty zajmujące się tym problemem dotyczą wojska oraz służb porządkowych. Niektóre ważniejsze umowy to:

1. Deklaracja z St. Petersburga z roku 1868 zabraniająca używania pocisków o masie mniejszej niż 400 g wypełnionych materiałami eksplodującymi lub zapalającymi przy zderzeniu z ludzkim ciałem.
2. Konferencja w Brukseli w roku 1874 – artykuł 13 zabraniający używania broni, amunicji lub materiałów powodujących nieuzasadnione cierpienia.
3. Konwencja w Hadze – w roku 1899 podpisano deklarację o zakazie stosowania podczas wojny amunicji, ekspandującej w organizmie ludzkim (tzw. pociski dum-dum), powodującej nieuzasadnione duże obrażenia i cierpienia (pociski te obecnie są określane jako półpłaszczowe). Deklarację tę można uznać za pierwszą skuteczną próbę zakazu stosowania podczas konfliktów zbrojnych pewnych rodzajów klasycznej amunicji. Przez ostatnie 100 lat deklaracja ta była powszechnie uznawana nawet przez państwa, które jej nie podpisały.
4. W roku 1994 podczas spotkania ekspertów Międzynarodowego Czerwonego Krzyża szwajcarska delegacja przedstawiła dokument pt. *Draft protokol on small caliber weapon systems*, w którym stwierdzono, że w związku z rozwojem „technologii zabijania” [26] powinny być zakazane również inne klasyczne, nowo opracowane pociski małokalibrowe, powodujące nadmierne obrażenia i cierpienia. Współczesne pociski karabinowe ulegające fragmentacji w ciele ludzkim, np. kalibru 5,45 mm lub 5,56 mm, mają działanie po-

dobne jak pociski grzybkujące. Można przyjąć więc, że pociski przekazujące energię kinetyczną równie szybko jak pociski dum-dum, lecz deformujące się inaczej niż dum-dum powinny również być zakazane przez prawo międzynarodowe. Dotyczy to obecnie pocisków o kalibrze mniejszym niż 12,7 mm, które wystrzelone z odległości co najmniej 25 m przekazują trafionemu człowiekowi na drodze 0,15 m energię kinetyczną większą niż 300 J (2000 J/m) [25], co związane jest ze złożonym ruchem, jaki pocisk małokalibrowy o dużej prędkości wykonuje w ciele ludzkim.

5. W roku 1979 *Kodeks ONZ dla funkcjonariuszy służb porządkowych* określił zasady postępowania obowiązujące służby porządkowe tak, aby przestrzegane były podstawowe prawa człowieka. W artykule 3 stwierdzono, że należy czynić wszystko, aby wykluczyć użycie broni palnej, szczególnie przeciwko dzieciom.
6. W roku 1990 uchwalono *Podstawowe zasady ONZ w sprawie użycia siły i broni palnej przez funkcjonariuszy służb porządkowych*. W paragrafie 2 stwierdzono, że rządy państw powinny rozbudować jak najbardziej środki i wyposażać funkcjonariuszy sił porządkowych w różne rodzaje broni i amunicji, które pozwolą na zróżnicowanie użycia siły i broni adekwatnie do zaistniałej sytuacji zagrożenia. Należy rozbudować broń obezwładniającą i używać jej w odpowiednich sytuacjach tak, aby ograniczyć możliwość zabicia lub zranienia osób postronnych.

Stosowana w uchwałach międzynarodowych terminologia techniczna ma za zadanie tylko lepsze odzwierciedlenie intencji ustawodawcy, a nie ograniczenie zakresu jej stosowania do wskazanych przykładowych konstrukcji. Moralna konieczność stosowania zasady badania zgodności z przepisami międzynarodowymi nowo opracowanego uzbrojenia, używanego przez siły porządkowe, została oficjalnie usankcjonowana w uchwale ONZ z 1990 roku. Wynik tych badań powinien potwierdzać zgodność formalną, jak i zgodność z intencjami ustawodawcy. Nie jest to proste zadanie, lecz nieuzasadnione zabicie czy ciężkie zranienie przeciwnika lub osoby zupełnie postronnej wywołuje jeszcze więcej problemów natury moralnej. Broń niezabijającą, np. pistolety gazowe, naboje z pociskami gumowymi, urządzenia elektryczne paraliżujące, nie zawsze można zaakceptować jako alternatywę dla broni strzeleckiej. Broń oznaczoną jako niezabijającą niektórzy ludzie używają bardzo nieodpowiedzialnie. Odnotowano wiele przypadków w różnych państwach demokratycznych, że nawet dobrze wyszkoleni żołnierze i policjanci, stosując taką broń, spowodowali śmierć przeciwnika.

Literatura

- [1] Arvidsson P.G.: *Soldier lethality and wound ballistics from a Swedish perspective*, NDIA 51 Joint Services Small Arms Symposium, Atlantic City, 18.05.2005, <www.dtic.mil/ndia/2005smallarms/wednesday/arvidsson.pdf>.
- [2] Baton rounds, A review of the human rights implications of the introduction and use of the L21A1 baton round in Northern Ireland and proposed alternatives to the baton round, Northern Ireland Human Rights Commission, by the Omega Foundation, Temple Court 39 North Street Belfast BT1 1NA, 2003, <www.nihrc.org>.
- [3] Bogusławski S.: *Mala encyklopedia medycyny*, PWN, Warszawa 1990.
- [4] Coupland R.: *Clinical and legal significance of fragmentation of bullets in relation to size of wounds: retrospective analysis*, BMJ, 1999, pp. 403–406, <<http://bmj.bmjournals.com/cgi/content/full/319/7207/403>>.
- [5] Mikko D.: *US Military Green Bullet*, <www.FirearmsID.com>.
- [6] Dyckmans G., Ndompetelo N., Chabotier A.: *Numerical and experimental study of the impact of small caliber projectiles on ballistic soap*, J. Phys. IV France 110, 2003, p. 627.
- [7] *Emergency War Surgery*, Borden Institute Walter Reed Army Medical Center, Washington, DC 2004, <[www.brooksidepress.org/Products/Emergency%20War20%Surgery/Table of Contents.pdf](http://www.brooksidepress.org/Products/Emergency%20War20%Surgery/Table%20of%20Contents.pdf)>.
- [8] Fackler M.L.: *What's wrong with the wound ballistics literature, and why*, Letterman Army Institute of Research, Presidio of San Francisco, California, USA, Report No. 239, July 1987.
- [9] Fackler M.L.: *Wound Profiles*, Wound Ballistic Review, 5(2), 2001, pp. 25–38.
- [10] Fackler M.L., Bellamy R.F., Malinowski J.A.: *The wound profile: illustration of the missile-tissue interaction*, Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care, 28 (1 Suppl): S21-29, 1988.
- [11] Fackler M.L. et al.: *Bullet fragmentation: a major cause of tissue disruption*, Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care, 24(1), 1984.
- [12] Fackler M.L., Malinowski J.A.: *The wound profile: a visual method for quantifying gunshot wound components*, Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care, 25(6), 1985, pp. 522–529.
- [13] *FBI ballistic test protocol*, <<http://greent.com/40Page/general/fbitest.htm>>.
- [14] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 1999.

- [15] Gross A., Pohl J., Maselko J.: *Obrażenia od postrzałów pociskami gumowymi z broni gładkolufowej*, <http://www.kms.cm-uj.krakow.pl/ArchMedSadKrym/2000/2_2000/127_136.htm>.
- [16] Heaton L.D. et al.: *Wound ballistics*, Medical department, United States Army, Washington 1962, <<http://history.amedd.army.mil/booksdoc/wwii/woundblstcs/default.htm>>.
- [17] Jussila J.: *Wound ballistic simulation: assessment of the legitimacy of law enforcement firearms ammunition by means of wound ballistic simulation*, Uniwersytet w Helsinkach, praca doktorska, Finlandia 2005.
- [18] Krausz M.: *Blunt and penetrating injuries caused by rubber bullets during the Israeli-Arab conflict in October 2000: a retrospective study*, The Lancet Medical Journal, Vol. 359, No. 9320, 25.05.2002, <<http://www.mindfully.org/Health/2002/Rubber-Bullets-Israeli-Arab25may02.htm>>.
- [19] MacDougall J., Bernier A.: *Terminal effects of new small arms ammunition*, Int. Infantry & Joint Services Small Arms System Annual Symposium, NDIA 17 May 2005, <www.dtic.mil/ndia/2005smallarms/tuesday/macdougall.pdf, www.macdouJ&snctec.com>.
- [20] MacPherson D.: *Bullet penetration – Modeling the dynamics and the incapacitation resulting from wound trauma*, Ballistic Publications, El Segundo, California 1994.
- [21] Nennstiel R.: *How do bullets fly*, AFTE Journal, Vol. 28, No. 2, April 1996, pp. 104–143.
- [22] Newgard K.: *The physiological effects of handgun bullets; the mechanisms of wounding and incapacitation*, Wound Ballistics Review, 1(3):12–17, 1992.
- [23] Newton C.D. et al.: *Textbook of Small Animal Orthopedics*, J.B. Lippincott Company 1985, <<http://cal.vet.upenn.edu/saortho/info/info.htm>>.
- [24] Nicholas N.C., Welsch J.R.: *Ballistic Gelatin*, Applied Research Laboratory The Pennsylvania State University, 2004.
- [25] Prokosch E.: *The Swiss draft Protocol on Small-Caliber Weapon Systems. Bringing the dum dum ban (1899) up to date*, International Review of the Red Cross No. 307, pp. 411–425.
- [26] Prokosch E.: *The technology of killing; a military and political history of anti-personnel weapons*, Zed Books, London 1995.
- [27] *Shotgun home defense ammunition*, <www.firearmstactical.com/briefs10.htm>.
- [28] Sung Kim: *Frangible ammunition*, International Infantry & Joint Services Small Arms Systems Section Symposium, Exhibition & Firing Demonstration 13–16 May 2002, Atlantic City, NJ, <<http://www.dtic.mil/ndia/2002infantry/kim.pdf>>.
- [29] Szyrkowiec A.: *Wszystko o broni myśliwskiej*, Bellona, Warszawa 2001.

- [30] Świącki Z.: *Bioceramika dla ortopedii*, IPPT PAN, Warszawa 1992
- [31] *Terminal ballistics*, <<http://www.angelfire.com/art/enchanter/terminal.html>>.
- [31] Troy T. et al.: History and basic design of .223 and 5.56 ammunition, 2004, <<http://www.ammo-oracle.com/body.htm>>.
- [32] Urey W.P.: *Handgun wounding factors and effectiveness*, FBI Academy – Firearms Tactical Institute, Quantico, Virginia, USA, 1989.
- [33] Uzar AI et al.: *A new ballistic simulant “transparent gel candle” (experimental study)*, Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery 9(2): 104-6, 2003.
- [35] Widder J.M.: *Review of methodologies for assessing the blunt trauma potential of free flying projectiles used in non-lethal weapons*, <www.dtic.mil/ndia/nld4/widder.pdf>.
- [36] Williams A.G.: *The Story of the THV and Monad Bullets*, <www.quarry.nildram.co.uk/THV.htm>.
- [37] Wound ballistics, <<http://www.geocities.com/Pentagon/Bunker/8996/s3opstx/slpwoundballistics.htm?20>>.
- [38] Włodarczyk E.: *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej*, WAT, Warszawa 2006.

Strony internetowe

- [39] <<http://pl.wikipedia.org>>.
- [40] <<http://www.giwera.pl/artykuly/2003/news15/amuguma.htm>>.
- [41] <<http://www.iccammo.com/ballistics.html>>.
- [42] <<http://www.impactguns.com/store>>.
- [43] <<http://www.steyrscout.org/gelatin.htm>>.
- [44] <<http://www.tacticalshotgun.ca>>.

5 MODELOWANIE BUDOWY POCISKÓW

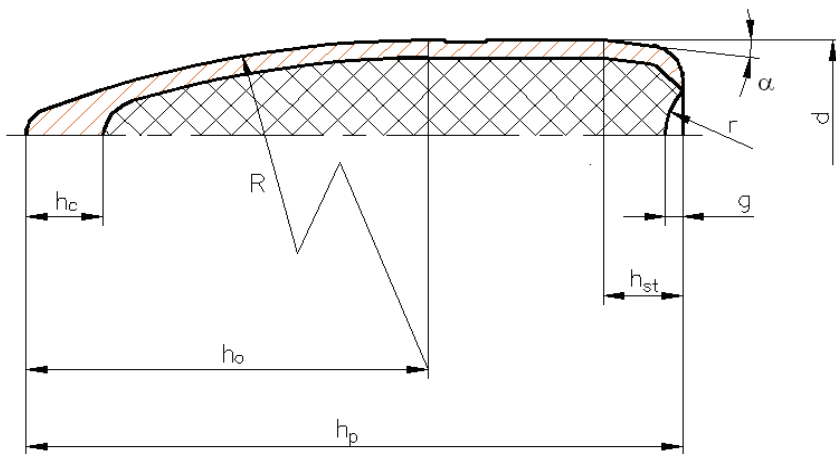
ĆWICZENIA

Ćwiczenie 1. Model wstępny pocisku

Celem ćwiczenia jest ustalenie wymiarów projektowanego pocisku.

Znając kaliber i rodzaj naboju, do którego projektujemy określony pocisk (np. zwykły, przeciwpancerny, przeciwpancerno-zapalający, poddźwiękowy), oraz inne jego parametry (np. prędkość początkową, masę pocisku), na podstawie literatury [1, 2, 9] można zbudować model pocisku, wyznaczając jego średnice zewnętrzne, długość pocisku, długość ostrołuku, promień ostrołuku, długość stożka tylnego, kąt nachylenia stożka tylnego.

Przykładowy model pocisku przedstawia rysunek 5.1. Jest to pocisk pośredni, posiadający rdzeń ołowiany oraz płaszcz, który może być wykonany z mosiądzu lub platerowanej stali. Długość ostrołuku tego pocisku wynosi do $3,5d$, promień ostrołuku od $15d$, długość stożka tylnego do $0,4d$, kąt stożka tylnego 7° , długość pocisku do $5,5d$. Zależności te dla pocisków pistoletowych lub karabinowych będą inne i należy to sprawdzić w literaturze oraz porównać z istniejącymi konstrukcjami.



Rys. 5.1. Model budowy pocisku do naboju pośredniego [6]

Przedstawione poniżej wartości liczbowe wyznaczone zostały dla pocisku z rdzeniem ołowianym (M193) do naboju 5,56x45 mm w celu ilustracji i lepszego zrozumienia przeprowadzanych obliczeń.

Przyjmijmy wstępnie taki kształt projektowanego pocisku, który ze względów konstrukcyjnych można scharakteryzować parametrami o następujących wartościach [6]:

średnica pocisku	$d = 5,56 \text{ mm}$
masa pocisku	$q = 3,6 \text{ g}$
długość pocisku	$h_p = 3,44 \cdot d = 19,1 \text{ mm}$
promień ostrołuku	$R_o = 5,57 \cdot d = 31 \text{ mm}$
długość stożka tylnego	$h_{st} = 0,41 \cdot d = 2,3 \text{ mm}$
kąt stożka tylnego	$\alpha = 7^\circ$
długość ostrołuku	$h_o = 2,10 \cdot d = 11,7 \text{ mm}$

Znając powyższe parametry, możemy obliczyć współczynnik masy pocisku c_q . Jest to parametr charakteryzujący konstrukcję pocisku. Ułatwia też porównywanie różnych pocisków. Wartość tego współczynnika wpływa na prędkość wylotową pocisku.

Współczynnik ten wyznaczamy jako iloraz masy pocisku do kalibru podniesionego do trzeciej potęgi.

$$c_q = \frac{q}{d^3}$$

Uwaga: w tej zależności masę pocisku q wyrażamy w **kg**, natomiast średnicę d w **dm**.

Przyjmujemy, że:

$$q = 0,0036 \text{ kg}$$

$$d = 0,0556 \text{ dm}$$

Po podstawieniu do powyższego wzoru otrzymamy wartość współczynnika masy:

$$c_q = \frac{0,0036}{0,0556^3} = 20,95 \text{ kg/dm}^3$$

Możemy też masę pocisku q wyrazić w **g**, a kaliber d w **cm** i wartość współczynnika masy zapisać w postaci:

$$c_q = 20,95 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Narysować widok pocisku pistoletowego oraz karabinowego, zaznaczyć podstawowe wymiary.

2. Obliczanie wstępne wymiarów pocisku.

Tabela 5.1. Obliczanie wstępne wymiarów pocisku

Kielce, dnia	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 1 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	5,45x39 mm	7,62x39 mm
d	5,56 mm					
q	3,6 g					
h _p	19,1 mm					
h _o	11,7 mm					
h _{st}	2,3 mm					
R _o	31 mm					
α	7°					
c _q	20,95 g/cm ³					
c _q (literatura)	20,00 g/cm ³					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Zaprojektować kształt trzech pocisków, np.: 9x19 mm, 7,62x51 mm, 5,45x39 mm, oraz wpisać ich parametry do tabeli 5.1.

3b. Wykonać rysunek przekroju poprzecznego lufy.

3c. Obliczyć współczynnik masy pocisków i porównać go ze współczynnikiem masy wyznaczonym z literatury.

3d. Wykonać rysunek odręczny pocisku.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Wyznaczyć wartość współczynnika masy pocisku pośredniego zwykłego M193 do naboju 5,56x45 mm w jednostkach **g/mm³**.

Literatura

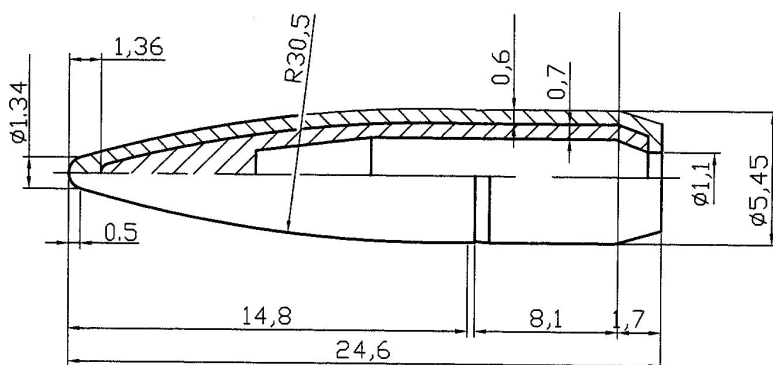
- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, WAT, Warszawa 1997.
- [4] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.

- [5] Majewski S., Niezgodzki S.: *Podstawy projektowania amunicji*, WAT, Warszawa 1981.
- [6] Radecki R.: *Opracowanie projektu konstrukcyjnego i procesu technologicznego pocisku pełnopłaszczowego z rdzeniem ołowianym do naboju kal. 5,56x45 mm*, Politechnika Świętokrzyska, praca magisterska, Kielce 2007.
- [7] Szadkowski J.: *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [8] Szapiro J.: *Balistyka zewnętrzna*, MON, 1956.
- [9] Tretiakow M.: *Amunicja artyleryjska*, MON, 1954.

Ćwiczenie 2. Wyznaczanie obciążenia pola przekroju poprzecznego pocisku

Celem ćwiczenia jest obliczenie obciążenia pola przekroju poprzecznego pocisku.

Na rysunku 5.1 przedstawiony jest model budowy pocisku pośredniego. Pocisk ten posiada rdzeń ołowiany oraz płaszcz, który może być wykonany z mosiądzu lub platerowanej stali. Na rysunku 5.2 pokazany jest przykładowo model pocisku zwykłego do naboju kalibru 5,45x39 mm. Pocisk ten zbudowany jest ze stalowego rdzenia, który otoczony jest powłoką z ołowiu tzw. koszulką oraz płaszczem. Funkcją koszulki jest zmniejszenie wartości naprężeń występujących pomiędzy płaszczem pocisku a lufą broni. Naprężenia te mają wpływ na zużycie lufy.



Rys. 5.2. Model pocisku do naboju 5,45x39 mm

Przedstawione poniżej wartości liczbowe wyznaczone zostały dla pocisku z rdzeniem ołowianym (M193) do naboju 5,56x45 mm w celu ilustracji i lepszego zrozumienia przeprowadzanych obliczeń [6]. Tak więc na podstawie analizy literatury oraz dotychczasowych konstrukcji można przyjąć, że:

- długość pocisku h_p wynosi:
 $h_p = 3,35 \cdot d = 3,35 \cdot 5,7 = 19,1 \text{ mm}$
- długość ostrołuku h_o wynosi:
 $h_o = 2,05 \cdot 5,70 = 11,7 \text{ mm}$
- długość stożka tylnego h_{st} wynosi:
 $h_{st} = 0,40 \cdot 5,7 = 2,3 \text{ mm}$
- promień ostrołuku R_o wynosi:
 $R_o = 5,44 \cdot 5,7 = 31 \text{ mm}$
- wysokość czaszy płaszczka wynosi:
 $h_c = 2,31 \text{ mm}$
- grubość płaszczka pocisku wynosi:
 $g = 0,55 \text{ mm}$
- promień zagłębienia dennego rdzenia pocisku wynosi:
 $r = 2 \text{ mm}$
- wysokość zagłębienia dennego rdzenia pocisku:
 $g_d = 0,5 \text{ mm}$

Średnicę rdzenia pocisku d_{rdz} można wyznaczyć z następującej zależności:

$$d_{rdz} = d - 2g$$

Dla pocisku do naboju M193 średnica rdzenia wynosi:

$$d_{rdz} = 5,7 - 2 \cdot 0,55 = 4,6 \text{ mm}$$

Obciążenie pola przekroju poprzecznego pocisku, którego obliczenie jest celem ćwiczenia, możemy zdefiniować jako stosunek masy pocisku do jego pola przekroju poprzecznego, w następującej postaci:

$$A_p = \frac{4 \cdot m_p}{\pi \cdot d^2}$$

gdzie: A_p – obciążenie przekroju poprzecznego pocisku, g/cm^2 ; m_p – masa pocisku, g;
 d – kaliber pocisku, cm; $\pi = 3,14$.

Wartość tego parametru dla analizowanego przykładowo pocisku M193 wynosi:

$$A_p = \frac{4 \cdot 3,6}{3,14 \cdot 0,556^2} = \frac{14,4}{3,14 \cdot 0,3091} = \frac{14,4}{0,97068} = 14,83 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$$

Znając wartość parametru d , można obliczyć średnicę bruzd znajdujących się na wewnętrznej powierzchni lufy, których funkcją podstawową jest nadanie pociskowi ruchu obrotowego. Średnicę tych bruzd możemy wyznaczyć z następującej zależności [5]:

$$d_b = d + 2t_b$$

gdzie: d – kaliber naboju, mm; t_b – głębokość bruzd, mm.

Zgodnie z literaturą przedmiotu [2] możemy przyjąć, że pomiędzy kalibrem naboju d a głębokością bruzdy występuje związek

$$t_b = 0,012 \cdot d$$

Przyjmując na podstawie literatury [6], że $d = 5,56$ mm, otrzymamy następującą głębokość bruzdy

$$t_b = 0,012 \cdot d = 0,012 \cdot 5,56 = 0,07 \text{ mm}$$

Tak więc średnica bruzd w lufie wynosi:

$$d_b = 5,56 + 2 \cdot 0,07 = 5,70 \text{ mm}$$

Aby pocisk zapewniał odpowiednie uszczelnienie oraz żeby zmniejszyć zużycie przewodu lufy średnica jego części prowadzącej powinna być nieznacznie mniejsza od średnicy bruzd. Z analizy literatury wynika, że można przyjąć następującą zależność pozwalającą wyznaczyć średnicę części prowadzącej pocisku:

$$d = d_{b-0,03}$$

Średnica części prowadzącej pocisku do naboju kalibru 5,56 mm wynosi [6]:

$$d = 5,70_{-0,03} \text{ mm}$$

Masę pocisku, momenty bezwładności, stabilizację można obliczyć po zaprojektowaniu jego kształtu i budowy wewnętrznej, korzystając ze specjalizowanych pro-

gramów komputerowych, np. Prodas V3, zawierających moduły: analizujące własności masowe i geometryczne pocisku, współczynniki aerodynamiczne, wyznaczające tory balistyczne. Można też skorzystać z programów CAD, np. AutoCad lub SolidWorks, do wyznaczenia masy i momentów bezwładności. Te ostatnie właściwości można też wyznaczyć, dzieląc pocisk na części składowe o regularnych kształtach, a następnie uzyskane wyniki odpowiednio zsumować [3, 7, 8]. Każda metoda ma swoje słabe i mocne strony.

Obliczenia przeprowadzone różnymi metodami dla pocisku M193 wykazały, że jego masa wynosi około 3,60 g. Obliczona objętość płaszcza wynosi około 141 mm^3 , a rdzenia 216 mm^3 [6]. Przyjmując, że płaszcz pocisku można wykonać ze stali platerowanej mosiądzem o gęstości $0,0085 \text{ g/mm}^3$, jego masa wynosi:

$$m_{\text{pl}} = 141 \cdot 0,0085 = 1,2 \text{ g}$$

Przyjmując, że rdzeń pocisku M193 można wykonać z drutu o średnicy 4,6 mm ze stopu ołowiu (99%) z antymonem o gęstości $0,0111 \text{ g/mm}^3$, jego masa wynosi:

$$m_{\text{rdz}} = 216 \cdot 0,0111 = 2,4 \text{ g}$$

Tak więc po zsumowaniu masa pocisku wynosi:

$$q = m_p = m_{\text{pl}} + m_{\text{rdz}} = 3,60 \text{ g}$$

Momenty bezwładności zostały wyznaczone z wykorzystaniem programu Prodas V3. Obliczony moment bezwładności wynosi [6]:

- względem osi podłużnej pocisku $I_x = 0,1197 \text{ g/cm}^2$,
- względem osi poprzecznej $I_y = 0,7705 \text{ g/cm}^2$.

Stosunek wartości momentów bezwładności (poprzecznego do podłużnego) wynosi 6,44.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Narysować widok pocisku pistoletowego oraz karabinowego z rdzeniem ołowianym, zaznaczyć podstawowe wymiary.

2. Obliczanie obciążenia pola przekroju poprzecznego pocisku.

Tabela 5.2. Obliczanie obciążenia pola przekroju poprzecznego pocisku

Kielce, dnia	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 2 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	5,45x39 mm	7,62x39 mm
d	5,56 mm					
q	3,6 g					
t _b	0,07 mm					
d _b	5,70 mm					
h _p	19,1 mm					
h _o	11,7 mm					
h _{st}	2,3 mm					
R _o	31 mm					
g	0,55					
d _{rdz}	4,6					
A _p	14,83 g/cm ³					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Zaprojektować wartości parametrów kształtu trzech pocisków, np. 9x19 mm, 7,62x51 mm, 5,45x39 mm, otrzymane dane wpisać do tabeli 5.2.

3b. Narysować przekrój poprzeczny lufy.

3c. Obliczyć współczynnik obciążenia przekroju poprzecznego pocisków.

3d. Wykonać rysunek odrębny pocisku: widok oraz przekrój poprzeczny i podłużny.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Narysować półprzekrój pocisku pistoletowego oraz karabinowego z rdzeniem stalowym.

Literatura

- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, WAT, Warszawa 1997.
- [4] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.

- [5] Majewski S., Niezgodzki S.: *Podstawy projektowania amunicji*, WAT, Warszawa 1981.
- [6] Radecki R.: *Opracowanie projektu konstrukcyjnego i procesu technologicznego pocisku pełnopłaszczowego z rdzeniem ołowianym do naboju kal. 5,56x45 mm*, Politechnika Świętokrzyska, praca magisterska, Kielce 2007.
- [7] Szadkowski J.: *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [8] Szapiro J.: *Balistyka zewnętrzna*, MON, 1956.

Ćwiczenie 3. Wyznaczanie współczynnika kształtu pocisku

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wartości współczynnika kształtu projektowanego pocisku.

Znając rodzaj naboju, do którego projektujemy pocisk, kaliber oraz inne parametry (np. prędkość początkową, masę pocisku), na podstawie literatury [1, 2, 8] można zaprojektować kształt pocisku, wyznaczając jego średnice zewnętrzne, długość pocisku, długość ostrołuku, promień ostrołuku, długość stożka tylnego, kąt nachylenia stożka tylnego. Kształt pocisku związany jest z jego kalibrem.

Przykładowy model pocisku przedstawia rysunek 5.1. Jest to pocisk pośredni, posiadający rdzeń ołowiany oraz płaszcz, który może być wykonany z mosiądzu lub platerowanej stali. Długość ostrołuku tego pocisku wynosi do 3,5d, promień ostrołuku od 15d, długość stożka tylnego do 0,4d, kąt stożka tylnego 7°, długość pocisku do 5,5d. Zależności te dla pocisków pistoletowych lub karabinowych będą inne i należy to sprawdzić w literaturze oraz porównać z istniejącymi konstrukcjami.

Przedstawione poniżej wartości liczbowe wyznaczone zostały dla pocisku z rdzeniem ołowianym (M193) do naboju 5,56x45 mm w celu ilustracji i lepszego zrozumienia przeprowadzanych obliczeń [6].

Przyjmijmy wstępnie taki kształt projektowanego pocisku, który ze względów konstrukcyjnych można scharakteryzować parametrami o następujących wartościach [6]:

średnica pocisku	$d = 5,56 \text{ mm}$
długość pocisku	$h_p = 3,44 \cdot d = 19,1 \text{ mm}$
promień ostrołuku	$R_o = 5,57 \cdot d = 31 \text{ mm}$
długość stożka tylnego	$h_{st} = 0,41 \cdot d = 2,3 \text{ mm}$
kąt stożka tylnego	$\alpha = 7^\circ$
długość ostrołuku	$h_o = 2,10 \cdot d = 11,7 \text{ mm}$

Znając powyższe parametry możemy obliczyć współczynnik kształtu projektowanego pocisku. Współczynnik ten oznaczony symbolem i określa zdolność pocisku do przeciwstawienia się oporom aerodynamicznym i zależy od gabarytów pocisku [3].

Aby wyznaczyć wartość współczynnika kształtu projektowanego pocisku, możemy skorzystać z trzech różnych metod, a następnie porównać je z wartościami podawanymi w literaturze [2].

1. Obliczenie współczynnika kształtu pocisku według wzoru Sugota

$$i_s = \frac{0,625}{\sqrt{\frac{h_o}{d}}}$$

Przyjmujemy, że:

$$h_o = 11,7 \text{ mm}$$

$$d = 5,56 \text{ mm}$$

Po podstawieniu do powyższego wzoru otrzymamy:

$$i_s = \frac{0,625}{\sqrt{\frac{11,7}{5,56}}} = 0,431$$

2. Obliczenie współczynnika kształtu pocisku według wzoru Czernozubowa

$$i_c = \frac{0,3}{\sqrt{0,5 + 10d}} \left(1,23 - 0,15 \frac{d}{d'} \right) + \frac{h}{1 + 4h^2} \cdot \frac{12850 + K}{4200} - \frac{500}{1200 + v_0} \left[1 - \left(\frac{d'}{d} \right)^2 \right]$$

Uwaga: w tej zależności średnice pocisku wyrażamy w **dm**.

Przyjmujemy, że:

$$d = 0,0556 \text{ dm}$$

$$d' = d - 2h_{st} \cdot \tan(\alpha) = 0,050864 \text{ dm}$$

$$h = h_o/d = 11,7 : 5,56 = 2,1043$$

$$v_0 = 950 \text{ m/s}$$

$K = 600$ – do wyznaczenia wartości tego parametru należy najpierw przeprowadzić obliczenia z zakresu balistyki zewnętrznej.

$$K = X_S \text{ gdy } X_S \leq 1800 \cdot \left(\frac{d}{0,0762} \right)^2$$

lub

$$K = 1800 \cdot \left(\frac{d}{0,0762} \right)^2 \text{ gdy } X_S > 1800 \cdot \left(\frac{d}{0,0762} \right)^2$$

gdzie: X_S – współrzędna wierzchołkowej toru balistycznego pocisku.

Po podstawieniu do wzoru otrzymamy:

$$i_C = \frac{0,3}{\sqrt{0,5 + 0,556}} \cdot \left(1,23 - 0,15 \cdot \frac{0,0556}{0,050864} \right) + \frac{2,1043}{1 + 4 \cdot (2,1043)^2} \cdot \frac{12850 + 600}{4200} - \frac{500}{1200 + 950} \left[1 - \left(\frac{0,050864}{0,0556} \right)^2 \right]$$

$$i_C = \frac{0,3}{1,0276} (1,23 - 0,16397) + \frac{2,1043}{18,7123} \cdot 3,2024 - 0,23256 \cdot (1 - 0,8369) = 0,29194 \cdot 1,06603 + 0,36013 - 0,03793 = 0,6334$$

3. Obliczenie współczynnika kształtu pocisku według wzoru Pączkowskiego

$$i_p = 0,980 - 0,166 \left(\frac{h_o}{d} \right)$$

Przyjmujemy, że:

$$h_o = 11,7 \text{ mm}$$

$$d = 5,56 \text{ mm}$$

Po podstawieniu do powyższego wzoru otrzymamy:

$$i_p = 0,980 - 0,166 \cdot \left(\frac{11,7}{5,56} \right) = 0,980 - 0,350 = 0,63$$

Możemy teraz wyznaczyć wartość średnią współczynnika kształtu pocisku

$$i_{sr} = \frac{i_s + i_c + i_p}{3} = \frac{0,431 + 0,633 + 0,63}{3} = 0,56$$

Współczynnik kształtu pocisku można również przyjąć z literatury [2], ale jest to mniej dokładny sposób.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Narysować półprzekrój pocisku pistoletowego 9x19 mm NATO, zaznaczyć podstawowe wymiary.

2. Obliczanie współczynnika kształtu pocisku.

Tabela 5.3. Obliczanie współczynnika kształtu pocisku

Kielce, dnia	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 3 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	5,45x39 mm	7,62x39 mm
d	5,56 mm					
q	3,6 g					
h _p	19,1 mm					
h _o	11,7 mm					
h _{st}	2,3 mm					
R _o	31 mm					
α	7°					
i _s	0,431					
i _C	0,633					
i _p	0,63					
i _{literatura}	0,52					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Zaprojektować wartości parametrów kształtu trzech pocisków, np.: 9x19 mm, 7,62x39 mm, 5,45x39 mm, otrzymane dane wpisać do tabeli 5.3.

3b. Obliczyć wartości współczynnika kształtu pocisków oraz wpisać otrzymane dane do tabeli 5.3.

3c. Wykonać rysunek odręczny pocisku: widok oraz półprzekrój poprzeczny i podłużny.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: W projektowanym pocisku zmniejszyć długość ostrołuku o 1 mm i wyznaczyć współczynnik kształtu, korzystając ze wzoru Pączkowskiego, porównać uzyskane wartości.

Literatura

- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, WAT, Warszawa 1997.
- [4] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
- [5] Majewski S., Niezgodzki S.: *Podstawy projektowania amunicji*, WAT, Warszawa 1981.
- [6] Radecki R.: *Opracowanie projektu konstrukcyjnego i procesu technologicznego pocisku pełnopłaszczowego z rdzeniem ołowianym do naboju kal. 5,56x45 mm*, praca magisterska, Kielce 2007.
- [7] Szadkowski J.: *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [8] Szapiro J.: *Balistyka zewnętrzna*, MON, 1956.

Ćwiczenie 4. Obliczanie współczynnika balistycznego

Celem ćwiczenia jest obliczanie współczynnika balistycznego projektowanego pocisku.

Na rysunkach 5.1 i 5.2 przedstawione zostały modele budowy pocisku pośredniego.

Współczynnik balistyczny można wyznaczyć według następującej zależności [8]:

$$c = \frac{i \cdot d^2}{q}$$

gdzie: i – współczynnik kształtu pocisku, d – średnica pocisku, q – masa pocisku.

Wzrost wartości współczynnika c oznacza pogorszenie właściwości balistycznych pocisku, tzn. szybciej zmniejsza się jego prędkość oraz maleje donośność. Współczynnik kształtu i określa zdolność pocisku do przeciwstawienia się oporom aerodynamicznym i zależy od gabarytów pocisku [3].

Przedstawione poniżej wartości liczbowe wyznaczone zostały dla pocisku z rdzeniem ołowianym (M193) do naboju 5,56x45 mm w celu ilustracji i lepszego zrozumienia przeprowadzanych obliczeń [6].

Przyjmijmy wstępnie taki kształt projektowanego pocisku, który ze względów konstrukcyjnych można scharakteryzować parametrami o następujących wartościach:

średnica pocisku	$d = 5,56 \text{ mm}$
masa pocisku	$q = 3,6 \text{ g}$
długość pocisku	$h_p = 3,44 \cdot d = 19,1 \text{ mm}$
promień ostrołuku	$R_o = 5,57 \cdot d = 31 \text{ mm}$
długość stożka tylnego	$h_{st} = 0,41 \cdot d = 2,3 \text{ mm}$
kąt stożka tylnego	$\alpha = 7^\circ$
długość ostrołuku	$h_o = 2,10 \cdot d = 11,7 \text{ mm}$

Wartości współczynnika kształtu pocisku zostały obliczone w ćwiczeniu 3.

Współczynnik kształtu pocisku według wzoru Sugota wynosi:

$$i_s = 0,431$$

Współczynnik kształtu pocisku według wzoru Czernozubowa wynosi:

$$i_c = 0,633$$

Współczynnik kształtu pocisku według wzoru Pączkowskiego wynosi:

$$i_p = 0,63$$

Możemy teraz wyznaczyć wartość średnią arytmetyczną współczynnika kształtu pocisku

$$i_{sr} = 0,56$$

Współczynnik kształtu przyjęty z literatury wynosi:

$$i_{literatura} = 0,52$$

Znając wartość współczynnika kształtu, można obliczyć wartości współczynnika balistycznego pocisku.

Przyjmujemy masę pocisku $q = 3,6 \text{ g}$, średnicę $d = 5,56 \text{ mm}$ oraz obliczone współczynniki kształtu i wyznaczamy wartość współczynnika balistycznego:

- dla współczynnika kształtu wyznaczonego wg wzoru Sugota

$$c_s = \frac{i_s \cdot d^2}{q} = \frac{0,431 \cdot 5,56^2}{3,6} = 3,70$$

- dla współczynnika kształtu wyznaczonego wg wzoru Czernozubowa

$$c_C = \frac{i_C \cdot d^2}{q} = \frac{0,633 \cdot 5,56^2}{3,6} = 5,44$$

- dla współczynnika kształtu wyznaczonego wg wzoru Pączkowskiego

$$c_P = \frac{i_P \cdot d^2}{q} = \frac{0,63 \cdot 5,56^2}{3,6} = 5,41$$

- dla wartości średniej współczynnika kształtu

$$c_{\text{śr}} = \frac{i_{\text{śr}} \cdot d^2}{q} = \frac{0,56 \cdot 5,56^2}{3,6} = 4,81$$

- dla wartości współczynnika kształtu uzyskanej z literatury

$$c_{\text{literatura}} = \frac{i_{\text{literatura}} \cdot d^2}{q} = \frac{0,52 \cdot 5,56^2}{3,6} = 4,46$$

Analizując obliczone wartości współczynnika balistycznego, widać, że różnią się znacznie, nawet do 20%. Warto również zauważyć, że wzór Pączkowskiego, który jest dosyć łatwy do przeprowadzenia obliczeń, pozwala uzyskać wartości bliskie wartości średniej. Z tego względu wydaje się uzasadnione wykorzystywanie go, zwłaszcza do obliczeń wstępnych. Wzór Czernozubowa pozwala uzyskać również wynik zbliżony do wartości średniej, ale obliczenia są bardziej skomplikowane.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Narysować wykres zależności współczynnika balistycznego od współczynnika kształtu.

2. Obliczanie współczynnika balistycznego pocisku.

Tabela 5.4. Obliczanie współczynnika balistycznego pocisku

Kielce, dnia	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 4 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45 mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	5,45x39 mm	7,62x39 mm
d	5,56 mm					
q	3,6 g					
h _p	19,1 mm					
h _o	11,7 mm					
h _{st}	2,3 mm					
R _o	31 mm					
α	7°					
i _S	0,43					
i _C	0,63					
i _p	0,63					
i _{śr}	0,56					
i _{literatura}	0,52					
c _S	3,70					
c _C	5,44					
c _p	5,41					
c _{śr}	4,81					
c _{literatura}	4,46					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Obliczyć wartości współczynnika balistycznego dla trzech wybranych pocisków i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.4.

3b. Wyznaczyć wartości średniej współczynnika balistycznego dla trzech wybranych pocisków i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.4.

3c. Porównać wartości współczynników balistycznych obliczonych i wyznaczonych z literatury.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Obliczyć dokładności wyznaczania współczynnika balistycznego.

Literatura

- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, WAT, Warszawa 1997.
- [4] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
- [5] Majewski S., Niezgodzki S.: *Podstawy projektowania amunicji*, WAT, Warszawa 1981.
- [6] Radecki R.: *Opracowanie projektu konstrukcyjnego i procesu technologicznego pocisku pełnopłaszczowego z rdzeniem ołowianym do naboju kal. 5,56x45 mm*, praca magisterska, Kielce 2007.
- [7] Szadkowski J.: *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [8] Szapiro J.: *Balistyka zewnętrzna*, 1956.

Ćwiczenie 5. Obliczenie energii kinetycznej i pędu pocisku na torze lotu

Celem ćwiczenia jest obliczenie energii kinetycznej pocisku po opuszczeniu lufy.

Przedstawione poniżej wartości liczbowe wyznaczone zostały dla pocisku M193 z rdzeniem ołowianym do naboju 5,56x45 mm w celu ilustracji i lepszego zrozumienia przeprowadzanych obliczeń [6].

Ze względu na siły oporu aerodynamicznego działające na pocisk po opuszczeniu lufy następuje zmiana jego prędkości. Można przyjąć następujący związek określający prędkość pocisku w funkcji drogi po opuszczeniu lufy:

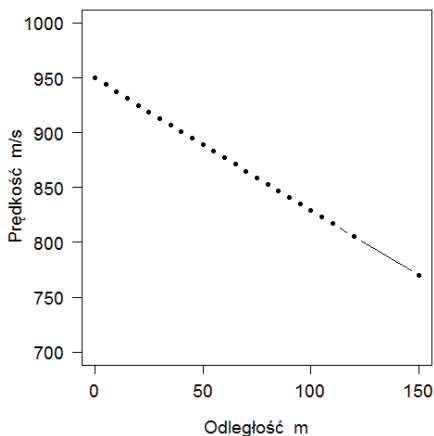
$$\Delta v_0 = \frac{i \cdot d^2}{q} \cdot 10^4 \cdot \frac{x}{\Delta D(v)} \text{ m/s}$$

gdzie: i – współczynnik kształtu pocisku wyznaczony w ćwiczeniu 3; d – kaliber pocisku, **m**; q – masa pocisku, **kg**; x – współrzędna pozioma położenia chwilowego pocisku (odległość od wylotu z lufy), **m**; $\Delta D(v)$ – funkcja Siaciego [8, tabl. 31, s. 315].

W tabeli 5.5 oraz na rysunku 5.3 przedstawiono przykładowe obliczone wartości prędkości.

Tabela 5.5. Prędkość pocisku w zależności od odległości od wylotu lufy [6]

Odległość x, m	0	10	20	30	50	70	90	110	120	150
Prędkość v_0 , m/s	950	937	925	913	889	865	841	817	805	770



Rys. 5.3. Zależność prędkości pocisku od odległości od wylotu z lufy

Znając masę pocisku oraz jego prędkość początkową, możemy wyznaczyć energię kinetyczną początkową na podstawie znanej zależności

$$E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2$$

gdzie: masa pocisku $m = q = 0,0036$ **kg**, prędkość początkowa $v_0 = 950$ **m/s**.

$$E_0 = \frac{0,0036 \cdot 950^2}{2} = 1624,5 \text{ J}$$

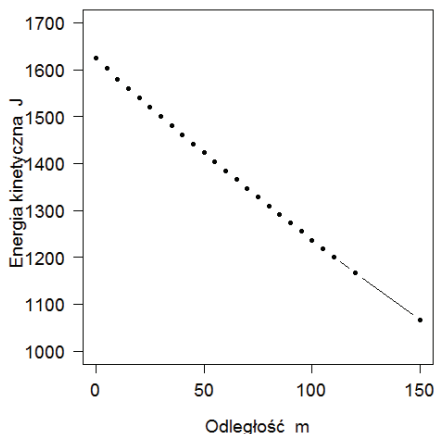
Dla innych odległości x energię kinetyczną wyznaczamy z zależności

$$E_0(x) = \frac{1}{2} m v^2(x)$$

Wybrane wyniki obliczeń energii kinetycznej pocisku po opuszczeniu lufy przedstawiono w tabeli 5.6 oraz na rysunku 5.4.

Tabela 5.6. Energia kinetyczna pocisku w zależności od odległości od wylotu lufy [6]

Odległość x, m	0	10	20	30	50	70	90	110	120	150
Energia E_0 , J	1624	1580	1540	1500	1423	1347	1273	1201	1166	1067



Rys. 5.4. Zależność energii kinetycznej pocisku od odległości od wylotu z lufy

Znając wartości masy i prędkości początkowej pocisku, można obliczyć pęd pocisku. Wartość pędu początkowego pocisku wyznaczamy z zależności

$$p_0 = mv_0$$

Dla pocisku M193, gdy jego masa wynosi $m = q = 0,0036$ kg, a prędkość początkowa $v_0 = 950$ m/s

$$p_0 = 0036 \cdot 950 = 3,42 \text{ kgm/s}$$

Dla innych odległości x pęd wyznaczamy z zależności [5]:

$$P(x) = mv(x)$$

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Opisać zasady dynamiki.

2. Obliczanie energii kinetycznej pocisku.

Tabela 5.7. Obliczanie energii kinetycznej pocisku

Kielce, dnia	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 5 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45 mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	5,45x39 mm	7,62x39 mm
d	5,56					
q	3,6 g					
V ₀	950 m/s					
V ₁₀	937 m/s					
V ₂₀	925 m/s					
V ₃₀	913 m/s					
V ₅₀	889 m/s					
V ₁₅₀	770 m/s					
E ₀	1624 J					
E ₁₀	1580 J					
E ₂₀	1540 J					
E ₃₀	1500 J					
E ₅₀	1423 J					
E ₁₅₀	1067 J					
P ₀	3,42 kgm/s					
P ₁₅₀	2,77 kgm/s					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Obliczyć wartości prędkości dla trzech wybranych pocisków i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.7.

3b. Wyznaczyć wartości energii kinetycznej dla trzech wybranych pocisków i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.7.

3c. Wyznaczyć wartości pędu dla trzech wybranych pocisków i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.7.

3d. Wyznaczyć procentowy spadek wartości prędkości pocisku po przebyciu drogi 150 m do wylotu z lufy.

3e. Wyznaczyć procentowy spadek wartości energii kinetycznej pocisku po przebyciu drogi 150 m do wylotu z lufy.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Wyznaczyć procentowy spadek wartości pędu pocisku po przebyciu drogi 150 m do wylotu z lufy.

Literatura

- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, WAT, Warszawa 1997.
- [4] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
- [5] Koruba Z., Osiecki J.: *Mechanika elementarna*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007.
- [6] Radecki R.: *Opracowanie projektu konstrukcyjnego i procesu technologicznego pocisku pełnopłaszczowego z rdzeniem ołowianym do naboju kal. 5,56x45 mm*, praca magisterska, Kielce 2007.
- [7] Szadkowski J.: *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [8] Szapiro J.: *Balistyka zewnętrzna*, MON, 1956.

Ćwiczenie 6. Modelowanie prędkości pocisku i ciśnienia w lufie

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości pocisku i ciśnienia w lufie.

Obliczenia wstępne w zakresie balistyki wewnętrznej mają na celu głównie wyznaczenie prędkości pocisku oraz ciśnienia gazów prochowych w lufie w zależności od przebytej drogi lub czasu, który upłynął od początku ruchu pocisku. Można w tym celu wykorzystać model Leduca, w którym została przyjęta hiperboliczna zależność pomiędzy drogą a prędkością pocisku w lufie [3]. Zależność prędkości od drogi można przedstawić zgodnie z teorią Leduca w następującej postaci

$$v = \frac{a \cdot l}{b + l}$$

gdzie: a i b są współczynnikami, które można wyznaczyć w następujący sposób:

– współczynnik a

$$a = \alpha \cdot \left(\frac{\omega}{q} \right)^{1/2} \Delta^{1/12}$$

– współczynnik b

$$b = \beta_L \cdot \left(\frac{W_0}{q} \right)^{3/8} \cdot (1 - 0,75 \cdot \Delta)$$

Przyjmujemy, że:

v – prędkość pocisku,

q – masa pocisku,

ω – masa ładunku prochowego,

W_0 – objętość komory ładunkowej łuski,

Δ – gęstość ładowania,

l – droga pocisku w lufie.

Rzeczywista droga pocisku w lufie jest mniejsza niż długość lufy i można ją wyznaczyć z następującej zależności:

$$l_w = l_c - l_n + l_p$$

gdzie: l_c – całkowita długość lufy, l_n – długość naboju, l_p – długość pocisku.

Korzystając z drugiej zasady dynamiki [4], można wyznaczyć zależność ciśnienia od drogi.

Ciśnienie gazów prochowych w lufie zależy od drogi przebytej przez pocisk w następujący sposób:

$$p = \frac{\varphi \cdot q}{F} \cdot \frac{a^2 \cdot b \cdot l}{(b+1)^3}$$

gdzie: p – ciśnienie gazów prochowych, F – pole przekroju poprzecznego przewodu lufy, łącznie z bruzdami, φ – współczynnik fikcyjności masy pocisku.

Masę ładunku prochowego zaelaborowanego w łusce możemy wyznaczyć z następującej zależności:

$$\omega = W_0 \cdot \Delta$$

Przyjmijmy dla naboju kalibru 5,56x45 mm, że objętość W_0 wynosi $1,933 \text{ cm}^3$, a gęstość ładowania Δ wynosi $0,90 \text{ g/cm}^3$. Otrzymamy wtedy po przeprowadzeniu prostych przekształceń wartość masy ładunku prochowego

$$\omega = 1,933 \cdot 0,90 = 1,74 \text{ g}$$

Często masa ładunku prochowego jest podawana przez producenta w charakterystyce technicznej naboju.

Współczynnik φ , uwzględniający prace drugorzędne i wszystkie straty energii gazów podczas ruchu pocisku w lufie, można obliczyć z następującej zależności [3]:

$$\varphi = 1 + \xi > 1$$

Parametr ξ zależy od masy względnej pocisku w sposób następujący:

$$\xi = \lambda \cdot \frac{q}{d^3}$$

gdzie: λ – współczynnik proporcjonalności, którego wartość zależy od budowy pocisku.

Dla pocisku M193 możemy przyjąć, że: $\lambda = 7 \text{ mm}^3/\text{g}$, q – masa pocisku wynosi 3,6 g, d – kaliber pocisku wynosi 5,56 mm. Po wykonaniu prostych obliczeń otrzymamy:

$$\varphi = 1 + 7 \cdot \frac{3,6}{5,56^3} = 1,147$$

Aby obliczyć współczynniki a i b , należy wyznaczyć wartości współczynników β_L i α . Współczynnik β_L można w przybliżeniu obliczyć wg wzoru:

$$\beta_L = 0,62 l_c$$

gdzie: l_c – długość przewodu lufy wynosi 508 mm = 0,508 m.

Po podstawieniu otrzymamy:

$$\beta_L = 0,62 \cdot 0,508 = 315 \text{ mm}$$

Współczynnik α zależy od własności prochu. Możemy przyjąć, że dla prochu nitrocelulozowego jego wartość wynosi 1550 m/s.

Wartość współczynnika a wyznaczamy z wcześniej podanej zależności:

$$a = \alpha \cdot \left(\frac{\omega}{q} \right)^{1/2} \Delta^{1/12}$$

Po podstawieniu wartości parametrów otrzymamy

$$a = 1550 \cdot \left(\frac{1,74}{3,6} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 0,90^{\frac{1}{12}} = 1550 \cdot (0,48)^{\frac{1}{2}} \cdot 0,90^{\frac{1}{12}} = 1550 \cdot 0,695 \cdot 0,991 = 1068 \text{ m/s}$$

W podobny sposób obliczamy wartość współczynnika b

$$b = \beta_L \cdot \left(\frac{W_0}{q} \right)^{\frac{3}{8}} \cdot (1 - 0,75 \cdot \Delta)$$

Wyznaczona wartość tego współczynnika wynosi

$$b = 0,315 \cdot \left(\frac{1,933}{3,6} \right)^{\frac{3}{8}} \cdot (1 - 0,75 \cdot 0,90) = 0,315 \cdot (0,537)^{\frac{3}{8}} \cdot 0,325 = 0,081 \text{ m}$$

Aby obliczyć w przybliżeniu pole przekroju poprzecznego lufy możemy do pola koła o średnicy d dodać pola prostokątów o bokach równych szerokości i głębokości bruzdy zgodnie z zależnością podaną niżej

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + n \cdot s \cdot t$$

gdzie: d – kaliber wynosi 0,556 cm, n – ilość bruzd wynosi 6, t – głębokość bruzdy wynosi 0,007 cm, s – szerokość bruzdy wynosi 0,2 cm.

Po podstawieniu odpowiednich wartości liczbowych pole przekroju poprzecznego lufy wynosi

$$F = \frac{\pi \cdot 0,556^2}{4} + 6 \cdot 0,007 \cdot 0,2 = 0,24267 + 0,00835 = 0,251 \text{ cm}^2$$

Znając dane potrzebne do obliczenia prędkości w lufie, po podstawieniu ich do wzoru otrzymujemy wartość prędkości wylotowej pocisku, która wynosi:

$$v_w = \frac{1068 \cdot 0,508}{0,08 + 0,508} = \frac{546,61}{0,588} = 923 \text{ m/s}$$

Z analizy wzorów Leduca wynika, że w chwili gdy ciśnienie gazów prochowych uzyskuje maksymalną wartość, pocisk przemieszcza się z położenia spoczynkowe-

go w komorze naboowej do położenia, które oznaczmy l_m . Wartość l_m można wyznaczyć, analizując położenie ekstremum funkcji ciśnienia od położenia. Zależność ta jest następująca:

$$l_m = 0,5 \cdot b$$

Dla analizowanego przykładowo pocisku M193

$$l_m = 0,5 \cdot 0,081 \text{ m} = 0,0405 \text{ m} = 40,5 \text{ mm}$$

Prędkość pocisku w tym położeniu, tj. dla $l_m = 40,5 \text{ mm}$ wynosi:

$$v_m = \frac{1}{3} a$$

A więc wartość tej prędkości wynosi $v_m = 356 \text{ m/s}$.

Należy zaznaczyć, że współrzędna l_m położenia pocisku oraz prędkość w tym momencie określają sens fizyczny stałych a i b . Zależność określającą prędkość pocisku w funkcji przebytej drogi można też przekształcić do następującej postaci:

$$v_{\max} = \frac{a l_{\max}}{b + l_{\max}} = \frac{a}{\frac{b}{l_{\max}} + 1} \xrightarrow{l_{\max} \rightarrow \infty} a$$

Z zależności tej wynika, że:

- długość lufy wpływa na wartość prędkości wylotowej,
- wartość prędkości pocisku nie może być większa od wartości parametru a , nawet przy długości lufy dążącej do nieskończoności.

Wartość ciśnienia maksymalnego gazów prochowych w komorze naboowej wynosi:

$$p_{\max} = \frac{\varphi \cdot q \cdot 4a^2}{F \cdot 27 \cdot b} = \frac{1,147 \cdot 0,0036 \cdot 4 \cdot (1068)^2}{0,251 \cdot 27 \cdot 0,08} = 348 \text{ MPa}$$

Wartość ciśnienia wylotowego można obliczyć z następującej zależności

$$p_w = \frac{\varphi \cdot q}{F} \frac{a^2 b l_w}{(b + l_w)^3}$$

Po wstawieniu wcześniej wyznaczonych wartości parametrów występujących w powyższym związku otrzymamy:

$$p_w = 38,41 \text{ MPa}$$

Po obliczeniu powyższych parametrów możemy wyznaczyć czas ruchu pocisku w lufie oraz energię odrzutu broni po oddaniu strzału. Czas ruchu pocisku obliczamy z następującej zależności:

$$t_w = \frac{b}{a} \left(3,174 + \frac{l_c}{b} + 2,303 \log \left(\frac{2l_c}{b} \right) \right)$$

Po podstawieniu wartości współczynników a, b oraz długości lufy otrzymamy

$$t_w = 9,018 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Energię odrzutu broni możemy wyznaczyć z następującej zależności

$$E_q = \frac{(q + \beta \omega)^2}{2m_b} v_w^2$$

Współczynnik β , który uwzględnia wpływ gazów wylotowych na odrzut broni, wyznaczamy z poniższej zależności:

$$\beta = \frac{6,45}{\left(\frac{p_m}{p_w} \frac{l_w}{d} \right)^{0,23}}$$

Wartość obliczona tego współczynnika (dla pocisku M193) wynosi $\beta = 1,375$.

Energia odrzutu broni o masie $m_b = 3,8 \text{ kg}$ wynosi $E_q = 4,16 \text{ J}$.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.
Przykładowy temat: Opisać zasady dynamiki.
2. Obliczanie prędkości pocisku i ciśnienia w lufie.

Tabela 5.8. Obliczanie balistyczne prędkości pocisku i ciśnienia w lufie

Kielce, dnia	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 6 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45 mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	5,45x39 mm	7,62x39 mm
d	5,56 mm					
q	3,6 g					
ω	1,74 g					
φ	1,147					
β _L	315 mm					
a	1068 m/s					
b	0,081 m					
F	25,1 mm ²					
V _w	928 m/s					
p _{max}	348 MPa					
p _w	38,41 MPa					
t _w	9,018x10 ⁻⁴ s					
E _q	4,16 J					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Wyznaczyć wartości prędkości wylotowej trzech pocisków, np.: 7,62x51 mm, 5,45x39 mm, 7,62x39 mm, i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.8.

3b. Obliczyć wartości ciśnienia maksymalnego dla wybranych trzech pocisków i wpisać je do tabeli 5.8.

3c. Obliczyć wartości ciśnienia wylotowego dla wybranych trzech pocisków i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.8.

3d. Obliczyć czas ruchu pocisku w lufie.

3e. Porównać otrzymane dane z danymi wyznaczonymi z literatury.

3f. Obliczyć energię odrzutu dla wybranych pocisków.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.

Przykładowy temat: Wyznaczyć analitycznie prędkość pocisku, w chwili gdy w komorze nabojoyej mamy maksymalną wartość ciśnienia.

Literatura

- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
- [4] Koruba Z., Osiecki J.: *Mechanika elementarna*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007.
- [5] Radecki R.: *Opracowanie projektu konstrukcyjnego i procesu technologicznego pocisku pełnopłaszczowego z rdzeniem ołowianym do naboju kal. 5,56x45 mm*, Politechnika Świętokrzyska, praca magisterska, Kielce 2007.

Ćwiczenie 7. Modelownie toru lotu pocisku

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie toru lotu projektowanego pocisku metodą Siacciego.

Przyjmijmy, że tor lotu projektowanego pocisku jest torem płaskim charakteryzującym się małym kątem rzutu, to znaczy $\theta_0 < 5^\circ$. Pozwala to przyjąć założenie, że pocisk przemieszcza się w powietrzu o stałej gęstości. Do obliczenia podstawowych parametrów tego toru wykorzystamy metodę Siacciego, która wykorzystuje cztery funkcje zdefiniowane w sposób następujący [2, 4]:

- funkcja I(U) (Inclinaison – pochylenie)

$$I(U) = 0,1 - \int_{1500}^U \frac{2g}{UF(U)} dU$$

- funkcja T(U) (Temps – czas)

$$T(U) = 1,0 - \int_{1500}^U \frac{1}{F(U)} dU$$

- funkcja D(U) (Distance – donośność)

$$D(U) = 1000 - \int_{1500}^U \frac{U}{F(U)} dU$$

- funkcja A(U) (Abaissement – obniżenie)

$$A(U) = 100 - \int_{1500}^U \frac{I(U)U}{F(U)} dU$$

gdzie: U – zmienna niezależna, tzw. prędkość pozorna, określana jest następująco [3]:

$$U = \frac{v \cdot \cos \theta}{\cos \theta_0}$$

Przyjmujemy, że:

v – prędkość pocisku

$F(U)$ – funkcja oporu powietrza

g – przyspieszenie ziemskie

θ_0 – początkowy kąt rzutu

θ – kąt nachylenia stycznej do toru lotu, odpowiadający bieżącemu położeniu pocisku. Dla małych kątów rzutu można przyjąć, że wartość wyrażenia:

$$\cos \theta_0 \cong \cos \theta \quad \text{oraz} \quad U = v$$

Wartości funkcji Siacciego zostały stabelaryzowane, są również dostępne w wersji elektronicznej.

Położenie pocisku w układzie współrzędnych prostokątnych możemy określić, podając współrzędne punktu x , y , w którym aktualnie się znajduje. Wartości tych współrzędnych możemy wyznaczyć, korzystając z następujących zależności:

– dla współrzędnej x , m

$$x = \frac{D(U) - D(v_0)}{c\beta}$$

– dla współrzędnej y , m

$$y = x \operatorname{tg}(\theta_0) - \frac{x}{2c\beta \cos^2 \theta_0} \left[\frac{A(U) - A(v_0)}{D(U) - D(v_0)} - I(v_0) \right]$$

– dla kąta θ stycznej do toru lotu w punkcie o współrzędnych (x, y) , w stopniach

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg}(\theta_0) - \frac{1}{2c\beta \cos^2 \theta_0} [I(U) - I(v_0)]$$

- dla czasu dolotu pocisku do punktu o współrzędnych (x, y) , w sekundach

$$t = \frac{1}{2c\beta\cos\theta_0} [T(U) - T(v_0)]$$

gdzie: c – współczynnik balistyczny pocisku, β – współczynnik poprawkowy Siacciego, dla kątów $\theta_0 < 10^\circ$ jego wartość w przybliżeniu jest równa jeden.

Wartość współczynnika balistycznego można obliczyć z zależności:

$$c = \frac{i d^2 \rho}{q \cdot 1,206}$$

gdzie: ρ – gęstość powietrza w chwili przeprowadzania pomiarów, znormalizowana gęstość powietrza wynosi $1,206 \text{ kg/m}^3$ w temperaturze 15°C przy ciśnieniu 1000 hPa .

Przedstawione poniżej wartości liczbowe wyznaczone zostały dla pocisku do naboju $5,45 \times 39 \text{ mm}$ w celu ilustracji i lepszego zrozumienia przeprowadzanych obliczeń. Przyjmijmy z literatury [1], że:

- masa pocisku wynosi:
 $q = 3,415 \text{ g}$
- masa ładunku prochowego wynosi:
 $\omega = 1,39 \text{ g}$
- długość pocisku wynosi:
 $h_p = 25,5 \text{ mm}$
- współczynnik balistyczny wynosi:
 $c = 4,78$
- prędkość początkowa wynosi:
 $v_0 = 900 \text{ m/s}$

Przechodząc do wyznaczania punktów charakterystycznych toru lotu pocisku, przyjmijmy, że współrzędna y_s toru lotu pocisku wynosi $y = 1,5 \text{ m}$. W celu wyznaczenia współrzędnej x_s punktu wierzchołkowego toru lotu pocisku z tablic odczytujemy wartości funkcji Siacciego III:

$$D(U = v_0 = 900) = D_0 = 3126$$

$$I(U = v_0 = 900) = I_0 = 0,1313$$

$$A(U = v_0 = 900) = A_0 = 340,204$$

$$T(U = v_0 = 900) = T_0 = 2,822$$

W punkcie wierzchołkowym słuszne są następujące związki [4]:

- dla współrzędnej poziomej $x = x_S$

$$x_S = \frac{D(U_S = v_S) - D(U_0 = v_0)}{c}$$

- dla współrzędnej pionowej $y = y_S = 1,5$ m

$$y_S = 1,5 = \frac{D(U_S) - D(U_0)}{2c^2 \cos^2 \theta_0} \left[I(U_S) - \frac{A(U_S) - A(U_0)}{D(U_S) - D(U_0)} \right]$$

W punkcie wierzchołkowym zachodzi również związek:

$$I(U_S) - I(U_0) = c \cdot \sin 2\theta_0$$

z którego możemy wyznaczyć kąt θ_0 .

Stosując metodę kolejnych przybliżeń można wyznaczyć, że dla $v_s = 527$ m/s funkcje Siacciego przyjmują następujące wartości:

$$D(U_S) = 4776 \quad I(U_S) = 0,2017 \quad A(U_S) = 604,777$$

Znając wartości tych funkcji możemy obliczyć:

- wartość współrzędnej $x_S = 345$ m,
- kąt strzału $\theta_0 = 0,421^\circ$.

W punkcie upadku pocisku wartość współrzędnej $y = 0$ oraz zachodzi następujący związek

$$\operatorname{tg}(\theta_0) = \frac{1}{2c \cdot \cos^2 \theta_0} \left[\frac{A(U_c) - A(U_0)}{D(U_c) - D(U_0)} - I(U_0) \right]$$

Zależność tę można zapisać w następującej postaci

$$\frac{A(U_c) - A(U_0)}{D(U_c) - D(U_0)} = I(U_0) + 2c \cdot \cos^2 \theta_0 \cdot \operatorname{tg}(\theta_0)$$

Wartość prawej strony można łatwo obliczyć i jest ona równa 0,2017. W ten sposób otrzymaliśmy następujące równanie

$$\frac{A(U_c) - A(U_0)}{D(U_c) - D(U_0)} = 0,2017$$

które metodą kolejnych przybliżeń korzystając z tablic Siacciego można rozwiązać. Równość powyższa zachodzi dla prędkości $U_c = v_c = 355$ m/s. Wartości funkcji Siacciego dla tej prędkości wynoszą $D(U_c) = 5979$, a $A(U_c) = 915,929$. Znajomość tych wartości umożliwia wyznaczenie współrzędnej x punktu upadku

$$x_c = \frac{D(U_c) - D(U_0)}{c} = 596 \text{ m}$$

Energia kinetyczna pocisku w punkcie upadku wynosi:

$$E_c = (qv^2)/2 = 215$$

Energia kinetyczna w punkcie upadku przypadająca na 1 cm^2 pola przekroju poprzecznego pocisku wynosi $E_{cj} = 850 \text{ J/cm}^2$.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Sprawdzian kontrolny z przygotowania do zajęć – czas trwania 10 minut.
Przykładowy temat: Narysować tor lotu pocisku, zaznaczyć charakterystyczne punkty.
2. Obliczanie energii kinetycznej pocisku w punkcie upadku.

Tabela 5.9. Obliczanie energii kinetycznej pocisku w punkcie upadku

Kielce, dnia 	Imię i nazwisko			Sprawozdanie z ćwiczenia 7 pt.		
Parametr	Pocisk					
	M193 5,56x45 mm	9x19 mm NATO	M80 7,62x51 mm	M995 5,56x45 mm	7,62x25 mm	7,62x39 mm
d	5,45					
q	3,415 g					
ω	1,39 g					
v ₀	900 m/s					
U ₀	900 m/s					
D ₀	3126					
I ₀	0,1313					
A ₀	340,204					
T ₀	2,822					
V _S	527 m/s					
D _S	4776					
I _S	0,2017					
A _S	604,777					
x _S	345 m					
θ ₀	0,421					
V _c	355 m/s					
D _c	5979					
A _c	915,929					
x _c	596 m					
E _c	215 J					
E _{cj}	850 J/cm ²					

3. Zadanie do samodzielnego wykonania – czas trwania 70 minut.

3a. Obliczyć współrzędne punktu wierzchołkowego pocisków, np. 9x19 mm lub 7,62x39 mm, oraz wpisać otrzymane dane do tabeli 5.9.

3b. Obliczyć współrzędne punktu upadku pocisku oraz wpisać otrzymane dane do tabeli 5.9.

3c. Obliczyć energię kinetyczną jednostkową w punkcie upadku pocisku i wpisać otrzymane dane do tabeli 5.9.

4. Sprawdzian zaliczający ćwiczenie – czas trwania 10 minut.
Przykładowy temat: Porównać kąt rzutu z kątem upadku pocisku.

Literatura

- [1] Białczak B.: *Amunicja strzelecka*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988.
- [2] Brodacki J.: *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- [3] Gacek J.: *Balistyka zewnętrzna*, WAT, Warszawa 1997.
- [4] Kochański S.: *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.