

PODRĘCZNIK AKADEMICKI

Leszek Radziszewski

Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy strzelaniu do wybranych celów



Politechnika
Kielce



Świętokrzyska
2007

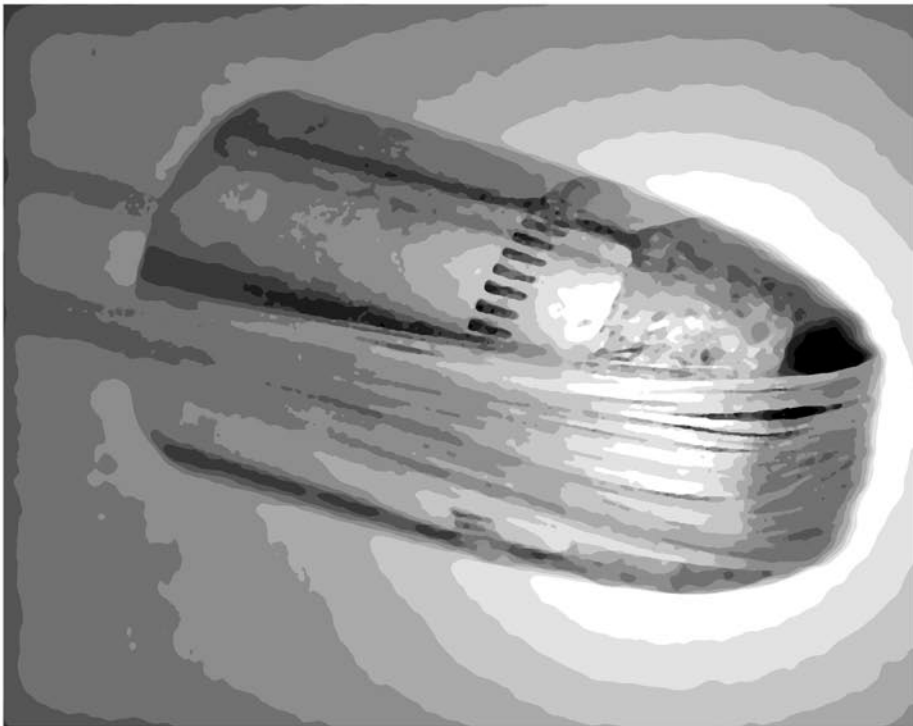
Leszek Radziszewski

**Balistyka końcowa
pocisków amunicji małokalibrowej
przy strzelaniu do wybranych celów**

PODRĘCZNIK AKADEMICKI

Leszek Radziszewski

Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy strzelaniu do wybranych celów



Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007
Copyright by Leszek Radziszewski

Wszelkie prawa zastrzeżone.

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

PODRĘCZNIK AKADEMICKI

Redaktor Naukowy serii NAUKI TECHNICZNE: Budowa i Eksploatacja Maszyn

Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c.

Recenzenci

Prof. dr hab. inż. Józef Gacek

dr inż. Mirosław Adamski

Korekta

Marzena Maćkowska

Redakcja techniczna

Jarosław Zachara

Zdjęcie na okładce i stronie tytułowej dzięki uprzejmości TEIJIN twaron

ISBN 978-83-88906-76-3



25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, tel. 0 41 342 45 81
www.tu.kielce.pl/wydawnictwo

Spis treści

1. Wstęp.....	7
2. Wykaz oznaczeń i określeń związanych z budową najpopularniejszych typów pocisków	11
3. Balistyka końcowa pocisków strzeleckich w żywym organizmie	17
3.1. Fizjologiczne, psychologiczne i biologiczne efekty ran postrzałowych w żywym organizmie	17
3.2. Analiza ruchu pocisku w ośrodku zastępczym	29
3.3. Testy FBI w zakresie balistyki końcowej pocisków	34
3.4. Stabilizacja pocisku	37
3.5. Dyskusja etyczna.....	41
4. Naboje pistoletowe i rewolwerowe	45
4.1. Budowa wybranych nabojów	45
4.2. Balistyka końcowa pocisków pistoletowych i rewolwerowych w ośrodkach zastępczych.....	61
5. Naboje karabinowe i pośrednie	69
5.1. Budowa wybranych nabojów karabinowych.....	69
5.2. Budowa wybranych nabojów pośrednich	75
5.3. Balistyka końcowa pocisków pośrednich i karabinowych w ośrodkach zastępczych	83
6. Amunicja o zmniejszonym zasięgu działania	97
6.1. Budowa wybranych nabojów	97
6.2. Budowa wybranych nabojów do gładkolufowych strzelb bojowych	102
6.3. Balistyka końcowa pocisków fragmentujących lub wyrzutowych z broni gładkolufowej w ośrodkach zastępczych	113
7. Indywidualne środki ochronne.....	123
7.1. Kamizelki kuloodporne.....	123
7.2. Hełmy	139
8. Literatura	151
Strony internetowe:	155

1. Wstęp

*Si vis pacem **para bellum** –
Chcesz pokoju gotuj wojnę*

Wzrost terroryzmu międzynarodowego i przestępczości zorganizowanej powoduje, że na ulicach spokojnych dotąd miast coraz częściej używana jest broń strzelecka. Stwarza to większe zagrożenie życia zarówno zwykłych obywateli, jak i policjantów czy żołnierzy. W tej sytuacji każdy żołnierz czy funkcjonariusz sił porządkowych musi mieć pewność, że indywidualne środki ochrony tj. kamizelka kuloodporna i hełm, których używa zabezpieczają go w dużym stopniu przed atakiem, a broń, w którą jest wyposażony pozwala skutecznie obezwładnić nawet zdeterminowanego przeciwnika. Musimy pamiętać bowiem, że tylko poczucie względnego bezpieczeństwa stwarza możliwość rozważnego używania broni strzeleckiej, zgodnie z prawem międzynarodowym, bez nadmiernej agresji i w taki sposób, aby nie ranić osób przypadkowych. Użytkownicy broni powinni nie tylko umieć celnie strzelać, ale muszą też wiedzieć, jakie skutki powoduje trafienie pocisku w żywy organizm. Przypadkową ofiarą ulicznych „pojedyneków” strzeleckich może być każdy, nawet dzieci. Dlatego fundamentalne znaczenie ma dobór odpowiednich naboju, zależnie od przewidywanego stopnia zagrożenia życia.

Podręcznik ten przeznaczony jest przede wszystkim dla studentów interesujących się budową broni i amunicji małokalibrowej, oddziaływaniem pocisków na żywy organizm oraz indywidualnymi środkami ochrony, czyli kamizelkami i hełmami kuloodpornymi. Wiele informacji tu zawartych może być również użytecznych dla funkcjonariuszy sił porządkowych oraz kadry technicznej zakładów produkujących amunicję lub osłony balistyczne.

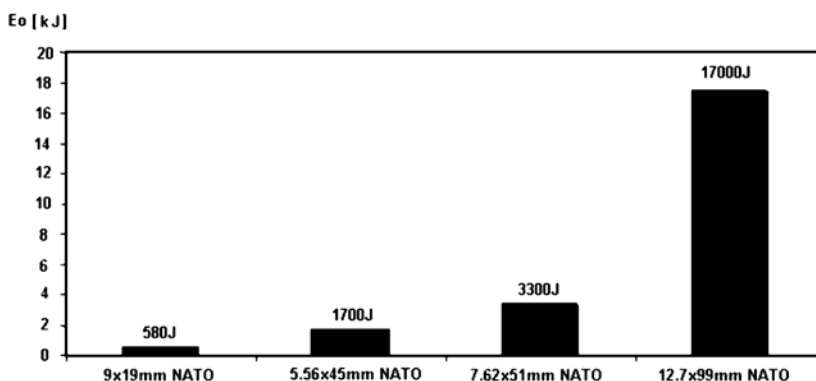
Ponieważ celem ostatecznym wystrzelonego pocisku jest obezwładnienie przeciwnika, w książce omówione zostały niektóre zagadnienia z tzw. balistyki końcowej. Naukę o balistyce możemy podzielić na: balistykę wewnętrzną, przejściową, zewnętrzną i końcową. Balistyka wewnętrzna analizuje ruch pocisków w lufie, spowodowany działaniem gazów prochowych. Balistyka przejściowa bada prawa ruchu pocisków od chwili wylotu z lufy do chwili zakończenia

powyłotowego działania gazów prochowych. Gazy te (o wysokim ciśnieniu, temperaturze i prędkości) opuszczają lufę razem z pociskiem i oddziałują na niego, zakłócając jego stabilny ruch. Balistyka zewnętrzna analizuje ruch pocisku od chwili zakończenia działania gazów prochowych do chwili trafienia w cel. Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej zajmuje się zagadnieniami oddziaływania pocisku na cel oraz analizą ruchu pocisku w organizmach żywych i w ciałach stałych [45]. Analiza problemów związanych z balistyką końcową, omówionych w tej pracy, dotyczy przede wszystkim oddziaływania pocisków na organizmy żywe i osłony balistyczne.

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 naboje używane w broni małokalibrowej i strzelbach. Pojęcie „amunicja” rozumiane jest powszechnie jako środki techniczne broni zawierające w sobie materiał wybuchowy czy inny o działaniu rażącym, niszczącym, zakażającym, oświetlającym lub sygnalizującym, który imituje strzały oraz wybuchy. Przyjmując kryterium przeznaczenia, amunicję można podzielić na: strzelecką, artyleryjską, raketową, saperską, morską, lotniczą, sportową, myśliwską i granaty. Biorąc pod uwagę budowę amunicji, dzieli się ją na: bojową, ćwiczebną, treningową oraz przeznaczoną do badań balistycznych.

Przedstawiony podział broni i amunicji jest dosyć powierzchowny, lecz jego zadaniem jest ułatwienie czytelnikowi mniej zorientowanemu w problematyce uzbrojenia właściwej orientacji w tej dziedzinie wiedzy. Kryterium podziału naboju strzeleckiego może być rodzaj broni, do której są przeznaczone, oraz ich wylotowa energia kinetyczna [6]. Dlatego możemy przyjąć również następujący podział (rysunek 1):

- 1) naboje pistoletowe przeznaczone do strzelania z pistoletów i pistoletów maszynowych – nabój standardowy 9×19 mm NATO, energia kinetyczna – 580 J.
- 2) naboje pośrednie przeznaczone do strzelania z karabinków, karabinków maszynowych, karabinków wyborowych i subkarabinków łączących w sobie cechy pistoletów maszynowych i karabinów – nabój standardowy 5,56×45 mm NATO, energia kinetyczna – 1700 J.
- 3) naboje karabinowe przeznaczone do strzelania z karabinów oraz karabinów maszynowych – nabój standardowy 7,62×51 mm NATO, energia kinetyczna – 3300 J.
- 4) naboje wielkokalibrowe przeznaczone do strzelania z wielkokalibrowych karabinów maszynowych – nabój standardowy 12,7×99 mm NATO, energia kinetyczna – 17000 J.



Rys 1. Energia kinetyczna wylotowa naboju strzeleckich standardowych w NATO [2]

Przedmiotem zainteresowania w niniejszej pracy są przede wszystkim naboje standardowe wprowadzone i stosowane przez państwa należące do NATO. Na ich przykładzie pokażemy budowę i działanie amunicji strzeleckiej. Istnieje duża grupa naboju i pocisków, których budowa oraz właściwości są ekstremalne, jednak z różnych względów amunicja ta nie jest powszechnie dostępna. Przykładem takiej amunicji są naboje strzałkowe, w których pocisk zbudowany jest z dużej ilości małych strzałek wykonanych z gęstych polimerów. Penetrują one dobrze żywy organizm, lecz są nieskuteczne przy zderzeniu z twardym celem. Wykonane z gęstego metalu są w stanie przebić pancerz. Do pocisków mających właściwości ekstremalne należą też pociski Dum-Dum, których używanie zabrania konwencja z 1899 roku. Pociski te mają bardziej miękki wierzchołek oraz głębsze nacięcia niż zwykłe pociski z wgłębieniem wierzchołkowym, co powoduje ich rozpadanie się podczas penetracji. Entuzjaści broni palnej przerabiają niekiedy amunicję z miękkim wierzchołkiem na pociski Dum-Dum, wykonując na niej nacięcia nożem. Tak wykonane pociski, mają jednak tendencję do rozpadania się jeszcze przed opuszczeniem broni (efektem tego jest poważne uszkodzenie broni). Do użytku cywilnego niedozwolone są pociski pistoletowe z cienką powłoką z miedzi lub z teflonu ułatwiającą penetrację pancerzy i przeszkód. Rzadko stosowane są również pociski wykonane z tytanu. Są one lekkie i mają bardzo dobre właściwości penetrujące, ale szybko tracą energię i prędkość, w związku z czym zdolność do przebijania celu maleje wraz z rosnącą odległością. Pociski te są znacznie droższe niż standardowe i trudno dostępne w cywilnej sieci sprzedaży, dlatego stosowanie ich jest mocno ograniczone. Z tych powodów oraz ze względu na rozmiary publikacji pociski ekstremalne nie zostały szerzej omówione.

2. Wykaz oznaczeń i określeń związanych z budową najpopularniejszych typów pocisków

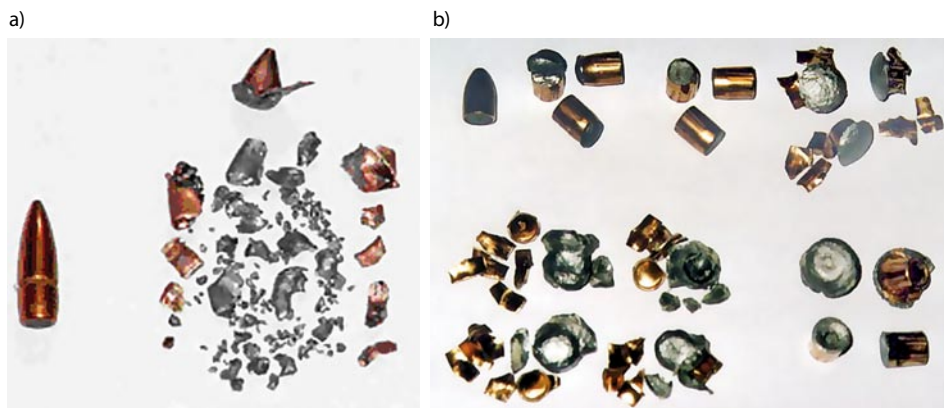
- a – prędkość dźwięku w ośrodku, w którym przemieszcza się pocisk (w powietrzu 333 m/s)
- c – współczynnik kształtu pocisku
- c_v – stała materiałowa ośrodka
- d – kaliber lub średnica pocisku [m]
- h – skok bruzd w lufie [m]
- h_p – odległość środka masy pocisku od punktu przyłożenia sił oporu aerodynamicznego [m]
- m – masa pocisku [kg]
- y – głębokość penetracji [m]
- A – pole przekroju poprzecznego prostopadłego do osi symetrii pocisku [m²]
- C – parametr jamy postrzałowej według systemu klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża
- E – parametr rany wejściowej według systemu klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża
- F – parametr pęknięcia kości według systemu klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża
- M – parametr określający ilość odłamków w ranie według systemu klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża
- E_r – energia kinetyczna szczątkowa pocisku [J]
- E_{def} – energia kinetyczna zużywana do deformacji pocisku [J]
- E_{rozp} – energia kinetyczna rozpraszana w ośrodku [J]
- I_X – moment bezwładności pocisku względem osi podłużnej [kg·m²]
- I_Y – moment bezwładności pocisku względem osi poprzecznej [kg·m²]
- L – długość pocisku [m]
- M_d – masa zniszczonego ośrodka przez penetrujący pocisk [kg]

- R – współczynnik korelacji
 S – masa śrutu podzielona przez pole przekroju poprzecznego [kg/m^2]
 S_g – współczynnik stabilizacji wylotowej (żyroskopowej)
 X – parametr rany wyjściowej według systemu klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża
 V – parametr określający stopień zranienia narządów wewnętrznych według systemu klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża
 V – objętość stałego kanału postrzałowego
 θ – współczynnik tzw. potencjału ranienia
 ΔE – zmiana wartości energii kinetycznej pocisku [J]
 ΔS – zmiana wielkości 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 w [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 związku z przystąpieniem Polski do NATO i do Unii Europejskiej w literaturze (zwłaszcza popularnonaukowej) związanej z amunicją małokalibrową często występują skróty i określenia anglojęzyczne niezrozumiałe dla polskiego czytelnika nawet, jeżeli posługuje się on biegle językiem angielskim. Z tego względu zebrano i wyjaśniono niektóre ważniejsze i częściej używane takie właśnie skróty [88].

Pociski FMJ (ang. *full metal jacket* – pełnopłaszczowe) posiadają cienkościnną powłokę osiowo-symetryczną całkowicie zamkniętą (z wyjątkiem podstawy pocisku), w której osadzony jest rdzeń (najczęściej lity). Są to najczęściej pociski wojskowe, których przeznaczeniem jest raczej zranienie i czasowe obezwładnienie przeciwnika niż całkowite jego obezwładnienie, czyli pozbawienie go 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 wal-

cowa lub w kształcie stożka ściętego. Dobrze penetrują większość materiałów. Zbudowana płaszczem część wierzchołkowa zabezpiecza pocisk przed deformacją poprzeczną i normalnie pocisk, po zderzeniu z przeszkodą miękką, powinien pozostać w całości (pociski w nabojach kalibru 5,45×39 mm i 5,56×45 mm szczególnie często ulegają fragmentacji – rysunek 2). Przeprowadzone w Wojskowej Akademii Technicznej liczne badania własne 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).



Rys. 2. Zdjęcia pocisków po zderzeniu z celem: a) pocisk z naboju kalibru 5,56x45 mm M193 wyprodukowany w RPA przed zderzeniem (z lewej strony) i po zderzeniu (z prawej strony – zrekonstruowano około 98% masy w postaci ponad 150 odłamków) z żelatyną balistyczną przy prędkości 960 m/s [49], dzięki uprzejmości Ammo Oracle <http://www.ammo-oracle.com/body.htm>, b) pociski 9 mm Luger po fragmentacji, dzięki uprzejmości Pana L. Möllera <http://home.snafu.de/l.moeller/Fangschuss.html>

Pociski JSP (ang. *jacketed soft point*) mają niepełny metalowy płaszcz (tzw. pociski półpłaszczowe) – miękki rdzeń w części wierzchołkowej nie jest zakryty. Miękki wierzchołek pocisku deformuje się gwałtownie przy uderzeniu w gęsty ośrodek. 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 deformacji pozwala zaprojektować pocisk o mniejszym kalibrze, większej prędkości i większej wartości pola powierzchni uderzenia. Kształt i budowa tych pocisków są zróżnicowane. Spotyka się pociski 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*) mają 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 minimalną energię kinetyczną uderzenia lub pęd, 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 oddziaływanie powylotowych gazów prochowych oraz opór denny 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 poprzeczny). 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. <i>Federal Bureau of Investigation</i>) – Federalne Biuro Śledcze w USA |
| FMJHP | (ang. <i>full metal jacket hollow point</i>) – pocisk pełnopłaszczowy z wgłębieniem wierzchołkowym w rdzeniu |
| FNSP | (ang. <i>flat nose soft point</i>) – pocisk półpłaszczowy z miękkim, stożkowym płasko zakończonym wierzchołkiem |

HPT	(ang. <i>high pressure test</i>) – amunicja o podwyższonym ciśnieniu maksymalnym, przeznaczona do badania elementów broni (wytrzymałość lufy, zespołów ryglowych)
LRN	(ang. <i>lead round nose</i>) – pocisk ołowiany z zaokrąglonym wierzchołkiem
LSWC	(ang. <i>lead semi wad cutter</i>) – pocisk ołowiany walcowo-stożkowy bez płaszczka, ze spłaszczonym wierzchołkiem do strzelań tarczowych
LWC	(ang. <i>lead wad cutter</i>) – pocisk ołowiany walcowy bez płaszczka, do strzelań tarczowych
PASGT	(ang. <i>personnel armor system for ground troops</i>) – system osobistej ochrony dla żołnierzy wojsk lądowych
PDW	(ang. <i>personal defence weapon</i>) – 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. <i>round nose soft point</i>) – pocisk półpłaszczowy z zaokrąglonym miękkim wierzchołkiem
RSP	(ang. <i>relativ stopping power</i>) – względna moc zatrzymująca pocisku
RII	(ang. <i>relative incapacitation index</i>) – względny współczynnik obezwładniania
Stp.	(ang. <i>stopping power</i>) – moc zatrzymania
SJFN	(ang. <i>semi jacketed flat nose</i>) – pocisk półpłaszczowy z płaskim stożkowym wierzchołkiem
SJHP	(ang. <i>semi jacketed hollow point</i>) – pocisk półpłaszczowy z wgłębieniem wierzchołkowym
SJSP	(ang. <i>semi jacketed soft point</i>) – pocisk półpłaszczowy z miękkim (najczęściej ołowianym) wierzchołkiem
TC	(ang. <i>truncated cone</i>) – dodatkowy symbol oznaczający pocisk ze stożkowym, ściętym (płaskim) wierzchołkiem; stosowany jest w połączeniu z innym oznaczeniem, np. FMJ TC
SRTA	(ang. <i>short range training ammunition</i>) – amunicja treningowa o małym zasięgu, np. fragmentująca
SHORTAC	(ang. <i>short range tactical ammunition</i>) – 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. $9\times 19\text{ mm}$ 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 (tabela 1). Jednostką masy pocisku w Europie jest $1\text{ g}=1\cdot 10^{-3}\text{ kg}$, a w USA $1\text{ gr [grain]}=0,0648\text{ g}$.

Tabela 1. Zestawienie popularniejszych kalibrów broni strzeleckiej w [cal] i w [mm]

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

3. Balistyka końcowa pocisków strzeleckich w żywym organizmie

3.1. Fizjologiczne, psychologiczne i biologiczne efekty ran postrzałowych w żywym organizmie

Z punktu widzenia lekarza-chirurga interesującego się bardziej raną pacjenta niż rodzajem broni, która ją spowodowała, środki bojowe używane w konwencjonalnym konflikcie możemy podzielić na eksplodujące oraz strzeleckie. Do amunicji eksplodującej zaliczamy: miny, granaty, bomby, naboje moździerzowe, naboje artyleryjskie, pociski raketowe, zaś do amunicji strzeleckiej: naboje do rewolwerów, pistoletów, karabinków, karabinów. Lekarze amerykańscy podczas dużych wojen w XX wieku, w których brała udział armia USA, np. w czasie kampanii w 1944 roku na wyspie Bougainville na Południowym Pacyfiku czy wojny w Wietnamie, przeprowadzali projekty badawcze, mające na celu ustalenie przyczyn powstawania ran postrzałowych i ich skutków dla zranionych żołnierzy. Niektóre wyniki tych badań, dotyczące rodzaju środków bojowych będących przyczyną powstawania ran, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Efektywność [w%] ranienia zastosowanych środków bojowych podczas walk o wyspę Bougainville w 1944 roku i podczas wojny w Wietnamie [12]

Środki bojowe	Bougainville	Wietnam
Amunicja strzelecka	33,3	30
Amunicja moździerzowa	38,8	19
Amunicja artyleryjska	10,9	3
Granaty	12,5	11
Miny	1,9	17
Granaty wyrzucane z karabinów	–	12
Inne	2,6	–

Z przedstawionej tabeli 2 wynika, że podczas każdego konfliktu zbrojnego rany spowodowane amunicją strzelecką i moździerzową są o wiele częstsze ani-

żeli rany zadane innymi rodzajami środków bojowych. Najczęściej występujące miejsca zranienia przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Prawdopodobieństwo [w %] wystąpienia rany postrzałowej w określonym miejscu ciała [12]

Konflikt lub miejsce	Głowa i szyja	Klatka piersiowa	Brzuch	Ręce i nogi	Inne
I wojna światowa	17	4	2	70	7
II wojna światowa	4	8	4	75	9
Wojna w Korei	17	7	7	67	2
Wojna w Wietnamie	14	7	5	74	–
Irlandia Północna	20	15	15	50	–
Wojna o Falklandy	16	15	10	59	–
Wojna w Zatoce Perskiej (wojska Wielkiej Brytanii)***	6	12	11	71	(32)*
Wojna w Zatoce Perskiej(wojska USA)	11	8	7	56	18**
Afganistan(wojska USA)	16	12	11	61	–
Czeczenia(wojska Rosji)	24	9	4	63	–
Somalia	20	8	5	65	2
Średnio	15	9,5	7,4	64,6	3,5

* bez uwzględnienia ran w pośladkach i wielokrotnych ran od odłamków

** wielokrotne rany od odłamków

*** w 80% spowodowane przez odłamki, ilość zranień od 1 do 45 – średnio 9

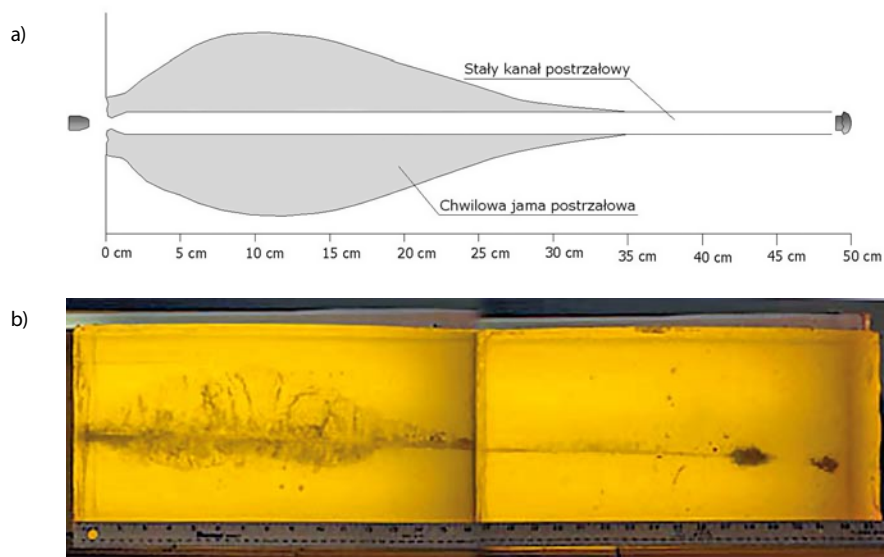
Przeanalizujmy działanie pocisku w przypadku trafienia w organizm żywy. Wielkość rany postrzałowej zależy głównie od: wartości energii kinetycznej w chwili uderzenia przypadającej na jednostkę powierzchni pola przekroju poprzecznego pocisku prostopadłego do osi symetrii, czyli tzw. energii kinetycznej jednostkowej i prędkości uderzenia. Niektórzy badacze wskazują też na duże znaczenie wartości opóźnienia pocisku przy wnikaniu w cel, tj. wskaźnik przekazywania energii. 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 [48]. Za niebezpieczne uznawane są elementy rażące ciało człowieka (przy bezpośrednim uderzeniu) mające energię jednostkową o wartości ponad $19 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$. W przypadku, gdy wartość energii tej jest mniejsza od $26 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ to powierzchnia skóry człowieka nie powinna zostać przebita (uszkodzenie oka występuje już przy wartości energii wynoszącej $4,5 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$). Przyjmowane jest, że w przypadku strzału do niechronionego celu żywego minimalna wartość skuteczna energii jednostkowej konieczna do obezwładnienia

wynosi: w NATO $150 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$, a w Rosji $98 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$. Aby zrozumieć mechanizm zranienia, potrzebne są następujące podstawowe informacje:

- 1) jak głęboko pocisk penetruje trafiony cel,
- 2) 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,
- 3) sposób deformacji pocisku: odkształcony plastycznie czy rozczłonowany na odłamki,
- 4) na jakim odcinku toru i w którym miejscu tworzy się chwilowa jama postrzałowa.

Rana postrzałowa powstaje w wyniku wniknięcia w organizm pocisku broni strzeleckiej. W odróżnieniu od klasycznej broni, np. nóż, spada, która niszczy tkanki tylko tam, gdzie dotrze ostrze, pocisk oddziałuje na trafiony cel dynamicznie. Znaczący to, że nie tylko rozcina, miażdży tkanki czy drąży otwór zostawiając za sobą kanał postrzałowy, ale jest też źródłem zaburzeń przejściowych, które rozchodzą się we wszystkich kierunkach [24]. W otoczeniu toru pocisku poza kanałem postrzałowym tworzy się chwilowa pulsująca jama postrzałowa. Fale ciśnienia, będące jej przyczyną, mogą powodować rozległe uszkodzenia (fale o dużej amplitudzie), np. pęknięcia czaszki, złamanie kręgosłupa, paraliż [58]. Jeżeli naprężenia spowodowane przez fale nie będą przekraczały wytrzymałości tkanek na rozciąganie (około 4 MPa), wystąpią nieznaczne uszkodzenia. Fale ciśnienia mogą uszkodzić również nerwy, ale danych eksperymentalnych potwierdzających to zjawisko jest niewiele. W chwilowej jamie postrzałowej typowe pociski pistoletowe wytwarzają naprężenia mniejsze niż 1 MPa, dlatego też nie powodują dużych zniszczeń tkanek, z którymi nie są w bezpośrednim kontakcie. Podciśnienie wytwarzane przez chwilową jamę postrzałową powoduje zassanie do rany różnych obcych ciał, co z kolei jest przyczyną zakażenia bakteryjnego organizmu rannego. Powstające odkształcenia przekraczają nieraz zakres 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. Stopień zniszczenia tkanki powiększa wysoka temperatura pocisku. 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, tzw. koziółkowanie – najczęściej po przebyciu drogi około $120 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, powiększa stopień destrukcji tkanek. Koziółkowanie 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 3. 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 – rysunek 4 (taki mechanizm oddziaływania wykorzystywany jest w pociskach o tzw. kontrolowanej ekspansji, np. półpłaszczowych).



Rys. 3. a) Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej wytworzonej przez pocisk ołowiany kaliber 10,4x38 mm, wystrzelony z karabinu Vetterli (2 połowa XIX wieku) z prędkością 414 m/s [13]; b) Penetracja pocisku kulowego kaliber 12/70 Remington Reduced Recoil wystrzelonego z odległości 2,74 m ze strzelby gładkolufowej Remington 870, o długości lufy 457×10^{-3} m, w 10% żelatynie balistycznej [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

Rozkład naprężeń w pocisku jest bardzo skomplikowany, zależy od jego budowy, zastosowanych materiałów, prędkości zderzenia – w pracy niniejszej nie będzie analizowany.

Wiele czynników, takich jak: miejsce trafienia, kształt, budowa i prędkość pocisku wpływa na wielkość kanału oraz na wielkość chwilowej jamy postrzałowej. Pociski z zaokrąglonym lub szpiczastym wierzchołkiem (tzw. hydrodynamiczne) 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, ale który traci ją wolniej (często pocisk tego samego kalibru, lecz cięższy), wytwarza ranę o mniejszej powierzchni, lecz penetruje głębiej, zostawiając za sobą duży kanał postrzałowy.



Rys. 4. Zdjęcie pocisku kulowego z naboju Remington Reduced Recoil, wystrzelonego ze strzelby z lufą o długości $356 \cdot 10^{-3}$ m, po zderzeniu z żelatyną balistyczną 10% [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

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. W tym przypadku nie występuje jedna rana postrzałowa, lecz każdy z odłamków tworzy mały kanał postrzałowy i nieznaczną chwilową jamę postrzałową. Niektóre pociski uderzające w organizm z dużą prędkością np. $5,56 \times 45$ mm M193 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 wstępie 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.

Skutki kanału postrzałowego, który pozostaje w ciele po przejściu pocisku, są powszechnie znane. Kanał postrzałowy w sercu spowoduje duży krwotok, w mózgu natychmiastowe obezwładnienie a nawet śmierć, z kolei w ramieniu lub nodze mocny ból, który nie przyczyni się do śmierci. Skutki dla organizmu chwilowej jamy postrzałowej są znacznie mniej znane, głównie ze względu na brak odpowiedniego eksperymentalnego ośrodka zastępczego o właściwościach zbliżonych do żywego organizmu. To czy przeciwnik zostanie unieszkodliwiony w wyniku trafienia pociskiem zależy od wielu czynników, zarówno psychologicznych jak i fizjologicznych. Należy rozróżnić zdolność pocisku do ranienia od zdolności do obezwładnienia. Z fizjologicznego punktu widzenia człowiek zostaje obezwładniony natychmiast i całkowicie tylko wtedy, gdy pocisk zniszczy mózg lub górną część rdzenia kręgowego. Obezwładnienie powoduje również trafienie w centralny układ nerwowy, obfite krwotoki z ran w sercu lub głównych naczyń krwionośnych w tułowie, w wyniku braku tlenu dostarczanego do mózgu, ale trwa to nieco dłużej. Na przykład w mózgu jest wystarczająca ilość tlenu, aby podtrzymać funkcje życiowe przez 10-15 s po zniszczeniu serca. Z badań statystycznych wynika, że w przypadku intensywnego krwotoku człowiek po utracie około 20% objętości krwi, czyli $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ (1 liter), po około 5 s doznaje szoku i traci przytomność. Uszkodzenie niektórych głównych tętnic może spowodować krwotok z prędkością $92 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (5,5 litra/min). Utrata 50% objętości krwi, czyli około $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ (2,5 litra), prawie zawsze powoduje śmierć [36]. Z tego punktu widzenia im większą ranę postrzałową spowoduje pocisk, a co za tym idzie wystąpi większy krwotok i szybszy spadek ciśnienia krwi, tym skuteczniej obezwładni przeciwnika. Możemy powiedzieć, że trafienie przeciwnika będzie skuteczne wtedy, 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. Skóra jest bardzo odporna na zranienie. Zbudowana jest z trzech warstw, o łącznej grubości około $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Warstwę wierzchnią tworzy naskórek wraz z przydatkami, takimi jak: paznokcie, włosy, gruczoły łojowe i potowe. Niżej znajduje się skóra właściwa, czyli tkanka łączna zbita, składająca się z warstwy zewnętrznej – brodawkowatej (od brodawek, które wpuklają się w naskórek) i wewnętrznej – siatkowatej składającej się głównie z włókien kola-

genowych tworzących sieć o grubych oczkach. Obie warstwy przechodzą łagodnie jedna w drugą bez wyraźnej powierzchni granicznej. Trzecią warstwę tworzy tkanka podskórna składająca się z luźnej tkanki łącznej, której włókniste wiązki oddzielają przestrzennie zawierające tkankę tłuszczową [5].

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 $4,5 \cdot 10^{-3}$ m przebija przy prędkości 95 ± 5 m/s. Zależność prędkości przebicia od masy pocisku i jego pola przekroju poprzecznego można opisać analitycznie [27]:

$$v = 100 \sqrt{33.4/S} \quad (1)$$

gdzie: S – masa śruciny podzielona przez pole przekroju poprzecznego [kg/m^2].

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. Przy klasyfikowaniu ran uwzględnia się wielkość rany wyjściowej. Duża rana wyjściowa jest sygnałem możliwości wystąpienia dużych obrażeń wewnętrznych. Wskazuje też lekarzowi miejsce, w którym pocisk (lub jego większa część) opuścił ciało rannego. Przy mniej skomplikowanych ranach mięśni może ułatwić regenerowanie uszkodzonych tkanek.

Kości w odróżnieniu od innych tkanek organizmu są materiałem kruchym i o większej gęstości [47]. 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 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 [37]. Następstwem przebicia kości może być powstanie dużej ilości odłamków kostnych o nieregularnych kształtach, które będą się przemieszczać razem z chwilową jamą postrzałową, wykonując ruch oscylacyjny. Odłamki kości przemieszczając się w różnych kierunkach działają jak wtórne pociski i powiększają uszkodzenie otaczających tkanek, jednak ze względu na ich małą masę nie powodują istotnych uszkodzeń organizmu. Pociski o dużej prędkości uderzenia przebijają kość na wskroś, tracąc przy tym nieznacznie prędkość. I tak np. badania doświadczalne wykazały, że pocisk uderzający w kość udową z prędkością 800 m/s zmniejsza prędkość tylko o 30 m/s (energię kinetyczną zmniejsza o 220 J) [40]. 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 przemiesz-

czać dalej po krzywoliniowym torze wykonując złożony ruch obrotowy, co grozi jego fragmentacją. Pocisk trafiający w głowę powoduje trzy podstawowe rodzaje uszkodzeń: pęknięcie czaszki (czaszka człowieka składa się z 22 połączonych kości), ranę skupioną i ranę mózgu. Bezpośrednie uderzenie pocisku w głowę zawsze powoduje poważne skutki. Nawet wtedy, gdy uderzenie pocisku następuje w hełm stycznie do jego powierzchni, może spowodować poważne zranienie poprzez szok, ciśnienie i kawitacje, gwałtowne skrócenie głowy.

Istnieje wiele udokumentowanych przypadków, gdy wystrzelony pocisk nieznacznie „musnął” lub nawet tylko „przeszedł” obok człowieka, a spowodowało to krótkotrwałe obezwładnienie organizmu. Zastraszenie, zdziwienie, szok emocjonalny również mogą spowodować, że człowiek na krótko utraci siły. Rozmiary chwilowej jamy postrzałowej, którą widzi ranny, wpływają na jego subiektywne odczucia odnośnie do wielkości i niebezpieczeństwa rany, powodując zaprzestanie przez niego dalszych działań bojowych. 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 [13], 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 trafionego 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. 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 następująco:

$$E_r = E_k - E_{def} - E_{rozp} \quad (2)$$

Energia kinetyczna pocisku w chwili uderzenia w cel wynosi:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

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 [27] zachodzi związek:

$$E_{rozp} = c_v \cdot V \quad (4)$$

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

Zdaniem niektórych naukowców teoria ta zawyża ilość uszkodzonych tkanek, które chirurg powinien wyciąć. Zwolennicy tej teorii uważają jednak, że pozostawienie części uszkodzonych tkanek w organizmie jest znacznie groźniejsze dla rannego od usunięcia ich w większej ilości, niż jest to niezbędne. 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 [27] wyznaczono eksperymentalnie zależność (dla pocisku nieulegającego deformacji) pomiędzy ilością energii rozpraszanej E_{rozp} , przypadającej na jednostkę długości kanału postrzałowego w $[10^{-3} m]$, a ilością zniszczonego ośrodka:

$$M_d = 44,575 \cdot E_{rozp} + 10,319 \quad (5)$$

gdzie: M_d – masa zniszczonego ośrodka w $[10^{-3} kg]$,
 E_{rozp} – rozproszona energia kinetyczna pocisku [J].

Współczynnik korelacji R tych parametrów jest mały i wynosi tylko 0,54. W tabeli 4 przedstawiono współczynniki korelacji R zależności pomiędzy ilością zniszczonego ośrodka, a innymi parametrami balistycznymi.

Tabela 4. Współczynniki korelacji pomiędzy ilością zniszczonego ośrodka a różnymi parametrami balistycznymi [27]

Parametr balistyczny	Współczynnik korelacji R
Prędkość uderzenia	0,11
Pęd w chwili uderzenia [m·v]	0,09
Energia kinetyczna w chwili uderzenia [0,5 m·v ²]	0,16
Moc uderzenia [m·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 przedmiotu istnieje wiele różnych teorii, które usiłują opisać w prosty sposób zdolność pocisku do obezwładniania [27] 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

$$RSP = 17,9 \cdot m \cdot v \cdot A \cdot c \quad (6)$$

gdzie: m , v – masa i prędkość pocisku w chwili uderzenia, odpowiednio,
 A – pole przekroju poprzecznego prostopadłego do osi symetrii pocisku [10^{-4} m²],
 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. Miarą mocy zatrzymania jest ilość energii kinetycznej przekazywanej przez pocisk do ośrodka zastępczego podczas penetracji na drodze pierwszych $150 \cdot 10^{-3}$ m.

$$Stp = 0,114 \cdot E_{rozp} \cdot A \cdot c \quad (7)$$

gdzie: E_{rozp} – energia kinetyczna rozpraszana w żelatynie balistycznej na drodze $150 \cdot 10^{-3}$ m.

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. Obecnie wiadomo już, że jest to błąd systematyczny. 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 [27]:

$$\frac{\Delta E}{\Delta S} = \theta \cdot \frac{E_k A}{m} \quad (8)$$

gdzie: ΔE – zmiana wartości energii kinetycznej pocisku [J],

ΔS – zmiana wielkości pola przekroju poprzecznego pocisku [m²].

Należy podkreślić, że powyższe teorie nie znalazły praktycznego zastosowania.

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

- 1) rodzaj broni i jej kaliber,
- 2) rodzaj naboju i rodzaj pocisku,
- 3) odległość, z której oddano strzał,
- 4) rodzaj trafienia: bezpośrednie, rykoszet, poprzez przeszkody,
- 5) rodzaj pokonanych przez pocisk przeszkód,
- 6) zachowana masa pocisku,
- 7) stopień deformacji pocisku,
- 8) długość kanału postrzałowego i jego położenie względem organów wewnętrznych,
- 9) położenie rany wejściowej i wyjściowej,
- 10) maksymalne rozmiary rany wejściowej i wyjściowej na powierzchni skóry,
- 11) masa usuniętych tkanek,
- 12) stopień uszkodzenia kości.

Międzynarodowy Czerwony Krzyż zaproponował prostą w użyciu klasyfikację ran, możliwą do zastosowania również w badaniach symulacyjnych – tabela 5. Nie jest tu wymagana znajomość użytej broni czy amunicji. Klasyfikacja ta uwzględnia: wielkość wejściowej i wyjściowej rany, wielkość kanału postrzałowego, możliwość złamania kości, zranienie narządów wewnętrznych, ilość odłamków. Zakłada ona, że pocisk pistoletowy najczęściej powoduje ranę stopnia pierwszego. Pocisk wystrzelony z pistoletu maszynowego z małej odległości od człowieka najczęściej powoduje ranę stopnia trzeciego, a pociski pośrednie lub karabinowe mogą powodować rany wszystkich stopni. Jest to metoda anatomiczna klasyfikacji ran i nie uwzględnia parametrów fizjologicznych zachodzących w zranionym organizmie.

Tabela 5. System klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża [7]

Rodzaj rany	Oceniany parametr rany i jego wartość
E – rana wejściowa	maksymalny rozmiar w [10^{-2} m]
X – rana wyjściowa	maksymalny rozmiar w [10^{-2} m], X=0, jeżeli nie występuje
C – jama postrzałowa	C=1, gdy jama postrzałowa jest większa niż dwa palce, w innym przypadku C=0
F – pęknięcie kości	F=0 – nie ma pęknięcia; F=1 proste złamanie, otwór lub nieznaczne odłamki; F=2 poważne rozszczępienie
V – zranione narządy wewnętrzne	V=1, gdy zraniony jest mózg lub organy wewnętrzne lub główne tętnice; inaczej V=0
M – w ranie pozostały kawałki metalu	odłamki pocisku widoczne na zdjęciu rentgenowskim; brak odłamków M=0, jeden odłamek M=1, wiele odłamków M=2
Ocena ran	
Stopień 1 – rozmiary rany skóry mniejsze od 10^{-1} m ($E+X < 10$), bez jam postrzałowych (C=0) oraz bez skomplikowanych ran kości (F=0 lub F=1)	
Stopień 2 – rozmiary rany skóry mniejsze od 10^{-1} m ($E+X < 10$), występują rany postrzałowe (C=1) lub skomplikowane rany kości (F=2)	
Stopień 3 – rozmiary rany skóry większe od 10^{-1} m ($E+X \geq 10$), występują jamy postrzałowe (C=1) lub skomplikowane rany kości F=2	

System klasyfikacji ran Czerwonego Krzyża nie uwzględnia czynników neurologicznych występujących przy zranieniu oraz ilości martwych tkanek, które, jeżeli nie zostaną usunięte, doprowadzą do poważnego zakażenia organizmu. Ponieważ tkanki te są bezpowrotnie tracone, powinny nie tylko być uwzględniane w ocenie rany, lecz stanowić podstawowy element tej oceny. Identyfikację martwych tkanek można przeprowadzić na podstawie:

- 1) braku ściśliwości tkanek,
- 2) zmienionej konsystencji tkanek,
- 3) zmienionego koloru tkanek,
- 4) braku krwawienia kapilarnego.

Chirurg musi wyważyć czy bezpieczniejsze dla rannego jest usunięcie zbyt wielu uszkodzonych odłamkami tkanek, czy pozostawienie pewnej ich ilości w ranie. Pozostawienie odłamków w ranie może spowodować po paru latach przemieszczenie ich do ważnych narządów wewnętrznych w wyniku działania systemu naczyniowego. Stworzy to poważne zagrożenie dla życia pacjenta. Metody określania stopnia zranienia, które powiększa się z czasem, nie zostały dotychczas opracowane. Analiza szkodliwego wpływu na organizm odłamków pozostawionych w ranie jest złożona i wymaga dalszych badań.

3.2. Analiza ruchu pocisku w ośrodku zastępczym

Często badania eksperymentalne balistyki końcowej pocisków przeprowadzane są na żywych zwierzętach wszystkich gatunków, np. świniach, jeleniach, psach, niektórych ich narządach, a także owocach. Ze wszystkich zwierząt najczęściej używane są świnie. Eksperymenty na zwierzętach mogą być przeprowadzane w celu zbadania fizjologicznych efektów zranienia, ale w żadnym wypadku nie po to, aby stwierdzić: potencjał zranienia, rozpraszanie energii pocisku, powtarzalność czy zgodność wyników. Próby te są niehumanitarne, a ich wyniki obarczone dużym błędem systematycznym, gdyż budowa anatomiczna i układ nerwowy innych ssaków różni się znacznie od ludzkiej (niejednorodność budowy tkanek mięśniowych i tłuszczowych świnia powoduje, że dokładność pomiaru głębokości penetracji wynosi 18% – tabela 6).

Tabela 6. Głębokość penetracji pocisku w tkankach świnia i w różnych ośrodkach zastępczych [89]

Ośrodek zastępczy	Głębokość penetracji [$\cdot 10^{-3}$ m]
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:

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

Powyższe wymagania oznaczają, że ośrodek zastępczy nie musi mieć dokładnie takich samych biomechanicznych własności jak żywy organizm – tabela 7. Wystarczy, że wyniki badań można rejestrować i odpowiednio interpretować tak, aby zobrazować, co się dzieje w żywym organizmie.

Tabela 7. Możliwości stosowania różnych ośrodków zastępczych wg [27]

Rodzaj rany	Ośrodek zastępczy
Rana wejściowa	sztuczna skóra przymocowana do bloku żelatyny lub mydła
Rana wyjściowa	sztuczna skóra przymocowana 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 lub mydle glicerynowym, gęstość ich bowiem jest zbliżona do gęstości organizmu ludzkiego (tabela 8). 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, szczątkowa 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.

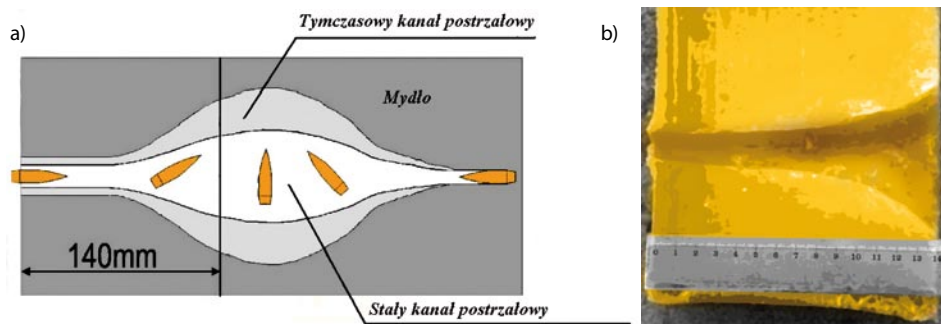
Tabela 8. Gęstość tkanek ludzkich i niektórych ośrodków zastępczych

Ośrodek	Tłuszcz	Wątroba	Skóra	Mięśnie	Płuca	Kości	Żelatyna	Mydło
Gęstość [$\cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$]	0,8	1,01-1,02	1,09	1,02-1,06	0,4-0,5	1,11	1,03-1,06	0,93

Przezroczysta żelatyna balistyczna pozwala łatwo wyznaczyć stopień fragmentacji pocisku i dystrybucję 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 [11]. 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 kształ-

tu rany są raczej ograniczone. Często stosowane jest w Szwecji, gdzie stwierdzono, że objętość kanału postrzałowego o długości 0,14 m w mydle (rysunek 5) odpowiada ilości zniszczonego ośrodka przez badany pocisk w ludzkim organizmie [2]. 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.

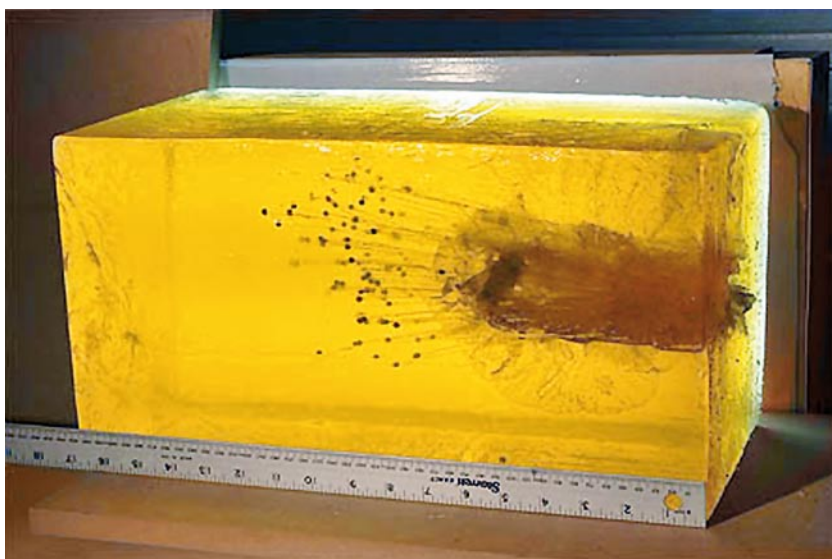
Oddziaływanie pocisku z ośrodkiem podczas penetracji można przedstawić obrazowo i w zrozumiały sposób, wykorzystując tzw. metodę schematu rany w ośrodku zastępczym. Otrzymane schematy ran wskazują maksymalne zniszczenia, jakie można przewidzieć w elastycznym organizmie żywego stworzenia. Kanał postrzałowy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



Rys. 5. Badanie kształtu jamy postrzałowej w szwedzkim mydle balistycznym [2]: a) idea pomiaru ilości zniszczonych tkanek na podstawie wielkości tymczasowej jamy postrzałowej, b) średnica jamy postrzałowej w danym punkcie odpowiada ilości energii kinetycznej pocisku pochłoniętej przez tkanki, dzięki uprzejmości P. G. Arvidsson, FMV (Demence Materiel Administration), Sztokholm, Szwecja

Żelatyna balistyczna używana jest od 1960 roku jako ośrodek zastępczy symulujący właściwości (gęstość i lepkość) tkanek sprężystych żywego organizmu [38]. 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 [16] 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 Fackler'a żelatyny balistycznej [17], który – pomimo wielu zastrzeżeń – został przyjęty jako ośrodek zastępczy o podobnych własnościach jak mięśnie żywych organizmów. Jedną

z najważniejszych zalet żelatyny jest jej przeźroczystość, co umożliwia dokładne zbadanie toru pocisku, kanału postrzałowego, chwilowej jamy postrzałowej oraz deformacji pocisku i rozkładu przestrzennego odłamków (rysunek 6). 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 [52].



Rys. 6. Penetracja pocisku śrutowego kaliber 12/70 Kent Tungsten Matrix Nr 1 birdshot w standardowym bloku żelatyny balistycznej, wystrzelonego z odległości około 3 m [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

Po przygotowaniu roztworu żelatyny (10% wagowo) należy ją wlać do formy o wymiarach: $15 \times 15 \times 40 \cdot 10^{-2}$ m – do badań pocisków pistoletowych lub $20 \times 20 \times 50 \cdot 10^{-2}$ m – do badań pocisków karabinowych. W niektórych laboratoriach używają żelatynę 11%, ponieważ nieraz z nieznanых 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 godz. 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. Można stosować kilka bloków 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 $180 \text{ m/s} \pm 4,6 \text{ m/s}$ w blok żelatyny, powinien zagłębić się w niej na głębokość $8,5 \pm 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, zgodnie z tym co zaproponowano w pracy [14] 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 Fackler'a odpowiedniej głębokości penetracji. W standardowym bloku żelatyny balistycznej powinna być spełniona następująca zależność:

$$y = 0,94 \cdot v - 21,92 \pm 5 \quad (9)$$

gdzie: y – głębokość penetracji w $[10^{-3} \text{ m}]$,

v – prędkość pocisku w $[\text{m/s}]$ w chwili uderzenia w blok żelatyny.

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) [34]. 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 [15] optymalna głębokość penetracji w wykalibrowanym ośrodku zastępczym wynosi od 0,318 m do 0,356 m. Według norm amerykańskiego biura śledczego (FBI) odnośnie do balistyki końcowej, pocisk powinien penetrować wzorcową żelatynę balistyczną na głębokość od 0,305 m (12 cali) do 0,457 m (18 cali). Jeżeli pocisk penetruje płycej, to jest to niewystarczające, a gdy penetruje głębiej, to jest to zadawałają-

ce, aczkolwiek może być niebezpieczne. Naturalnie w porównaniu do głębokości penetracji w żelatynie, w tkankach o rzadszej strukturze penetracja będzie większa (np. płuca) niż w tkankach o gęściejszej strukturze (np. mięśnie). Głębokość penetracji w żelatynie od 0,318 m do 0,356 m 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 0,080 m do 0,050 m) toru balistycznego, jest coraz mniejsza, a efektywna głębokość penetracji wynosi od 0,241 m do 0,305 m. Badania właściwości ludzkiej skóry wykazały, że – ze względu na dużą wytrzymałość na rozciąganie i sprężystość – może ona ograniczyć głębokość penetracji pocisku w mięśniach: przy wnikaniu o około 0,051 m, a przy jego wyjściu o około 0,102 m. Zmniejsza to dodatkowo efektywną penetrację. Tak więc (zgodnie z danymi FBI przeciętna grubość tułowia człowieka wynosi 0,229 m – 9 cali), aby pocisk przeszedł na wylot przez tułów ludzki, musi penetrować ośrodek zastępczy głębiej niż 0,356 m. 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 [18]. Tkankę 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 żelatyny. W badaniach używana jest broń typowa.

3.3. Testy FBI w zakresie balistyki końcowej pocisków

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 gruby ubiór zimowy. Pierwsza warstwa to bawełna typu T-Shirt (48 nici na odcinku $25,4 \cdot 10^{-3}$ m). Druga warstwa to bawełna koszulowa (80 nici na odcinku $25,4 \cdot 10^{-3}$ m). Trzecia warstwa to powłoka z flaneli (232 nici na odcinku $25,4 \cdot 10^{-3}$ m) o masie $283,5 \cdot 10^{-3}$ kg. Czwarta warstwa to bawełna jeansowa (50 nici na odcinku $25,4 \cdot 10^{-3}$ m) o masie $370,5 \cdot 10^{-3}$ kg. 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 $1 \cdot 10^{-3}$ m i powierzchni $232,26 \cdot 10^{-4}$ m² (6 cali $\times$ 6 cali) oddalone są od siebie o 0,076 m (3 cale). W odległości 0,457 m (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 $12,7 \cdot 10^{-3}$ m i powierzchni $232,26 \cdot 10^{-4}$ m² oddalone są od siebie o $89 \cdot 10^{-3}$ m (3,5 cala). Blok żelatyny przykryty jest warstwą letniego okrycia tekstylnego i znajduje się w odległości 0,457 m 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 0,457 m za tylną powierzchnią drewnianej płyty warstwowej kwadratowej o powierzchni $232,26 \cdot 10^{-4}$ m² i grubości 0,019 m (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 $6,35 \cdot 10^{-3}$ m o wymiarach 0,381 m $\times$ 0,457 m (15 cali $\times$ 18 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 0,457 m 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 symu-

luje 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 wniknąć na głębokość od $82,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ do $95,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Głębokość penetracji badanego pocisku w bloku żelatyny powinna wynosić od $229 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ do $381 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. 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. Wszystkie te badania mają utwierdzić nas w przekonaniu, że pocisk, który planujemy wystrzelić, wykona przewidziane zadanie z chirurgiczną dokładnością i nie spowoduje przypadkowych, nieprzewidzianych szkód.

3.4. Stabilizacja pocisku

Proces spalania się ładunku prochowego w każdym naboju przebiega z wielkimi różnicami. Dlatego też pociski opuszczające lufę mają zróżnicowane fazy ruchu, a to wpływa na ich celność. Osiowo-symetryczny 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 koziołkowanie 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 [21]. 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) [81]:

$$S_g = 2 \frac{I_X^2 \omega_X^2}{I_Y \rho d^2 h_P v^2 \pi C_{Y_{ap}}^\delta} \quad (10)$$

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

$$\omega_x = 2\Pi \frac{v}{h} \quad (10a)$$

gdzie: h – skok bruzd w lufie.

Przykładowo pocisk do naboju 7,62×51 mm NATO wylatujący z lufy, z bruzdami o skoku $305 \cdot 10^{-3}$ m, 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 [49].

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

$$\eta = 150 d/L \quad (11)$$

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 [21]:

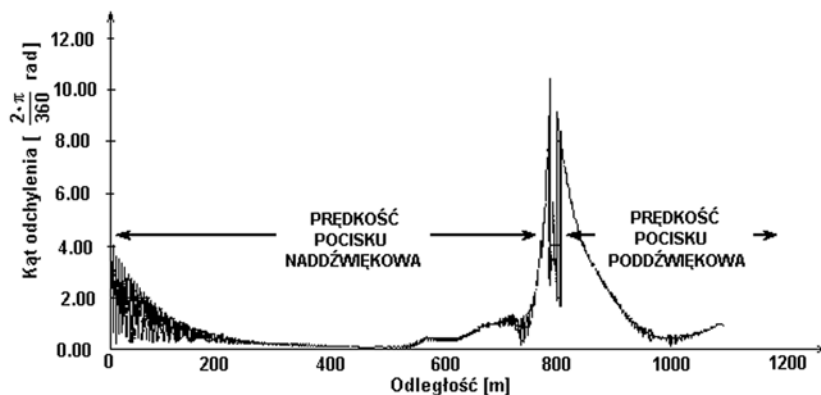
$$\eta^2 < \frac{I_x^2 \pi^2 \rho_{ON}}{I_y d^4 h_p \rho 10^3 K_M \left(\frac{v}{a} \right)} \quad (12)$$

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 (10). Powyższe zależności (10, 11, 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 [35]. Przykładowo dla pocisku 9 mm Luger pełnopłaszczowego – współczynnik stabilizacji żyroskopowej $S_g = 22,5$ i jest on również stabilny dynamicznie. Pocisk 5,56×45 mm M193 jest stabilny statycznie ($S_g = 1,38$), lecz nie jest stabilny dynamicznie. Po wystrzeleniu z lufy z bruzdami o skoku $305 \cdot 10^{-3}$ m początkowy kąt odchylenia osi

pocisku od toru balistycznego wynoszący około $0,07$ rad (4^0) zmniejsza się do około $0,03$ rad ($1,5^0$) w odległości 100 m. Następnie w odległości 500 m od wylotu z lufy wzrasta, przyjmując wartość $0,18$ rad ($10,4^0$) dla 800 m (rysunek 7).



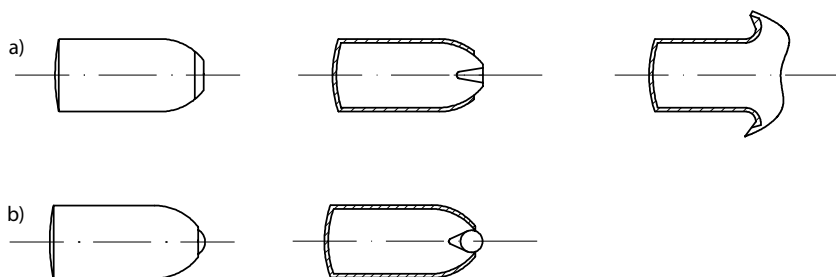
Rys. 7. Zależność kąta odchylenia osi pocisku od toru balistycznego w funkcji drogi, dla pocisku 5,56x45 mm M193 [2], dzięki uprzejmości P. G. Arvidsson, FMV (Demence Materiel Administration), Sztokholm, Szwecja

Z zależności (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 $500\,000 \text{ rad/s}$. Tak duża prędkość obrotowa nie jest raczej możliwa do uzyskania. Oznacza to, że pocisk po przebicciu skóry i wnikięciu w głąb organizmu może szybko stracić stabilizację. Porównując wartości prędkości obrotowej dla tych dwóch ośrodków widzimy, że zmiana skoku bruzd od $356 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ do $178 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ 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 (półpłaszczone i pełnopłaszczone) jako mechanizm obezwładnienia przeciwnika wykorzystują zamiast fragmentacji kontrolowaną ekspansję. Kontrolowaną ekspansję uzyskuje się np. poprzez pozostawienie w wierzchołku pocisku małej pustki powietrznej. Na rysunku 8 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 przybliży się do punktu przyłożenia sił oporu hydrodynamicznego, co zwiększa stabilność ruchu. O wielkości i sposobie ekspansji decydują rozmiary i kształt pustki oraz materiał i konstrukcja pocisku.



Rys. 8. Schemat konstrukcji pocisków deformujących się w sposób kontrolowany; a) konwencjonalna pustka, b) pustka z kulką (klinem) wnikałą w rdzeń, który następnie ekspanduje – rdzeń pocisku wykonany jest ze stopów ołowiu lub miedzi [27]

Niektóre bardzo lekkie pociski (o masie $2,59 \cdot 10^{-3}$ kg) 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 0,127 m do 0,152 m. Zaletą cięższych pocisków JHP i JSP o masach od $4,15 \cdot 10^{-3}$ kg do $4,47 \cdot 10^{-3}$ kg 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 $305 \cdot 10^{-3}$ m 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 $178 \cdot 10^{-3}$ m. Należy pamiętać, że decydujący wpływ na balistykę końcową pocisku ma jego konstrukcja i jest on znacznie większy niż masa czy prędkość.

3.5. Dyskusja etyczna

Rzadko kiedy policjant czy żołnierz ma możliwość spokojnego, precyzyjnego wycelowania i oddania strzału do przeciwnika. Zwykle, zwłaszcza na ulicy w mieście, strzał oddawany jest w sytuacji nagłej, nieprzewidywalnej, w warunkach złej widoczności i w stanie zagrożenia własnego życia. Z tych względów uzasadnione jest celowanie w środek masy widocznej części celu, a nie w głowę przeciwnika. Z badań statystycznych wynika, że w walkach ulicznych niezależnie od ogólnej ilości oddanych strzałów (zwłaszcza z pistoletu) można oczekiwać jednego lub dwóch trafień w tułów przeciwnika [51].

Wiele argumentów natury etycznej przemawia za tym, aby rozwój broni i amunicji nie sprowadzał się przede wszystkim do spowodowania jak największych zniszczeń w trafionym organizmie. Większa zdolność pocisku do natychmiastowego obezwładnienia musi spowodować większą destrukcję trafionego organizmu, zwiększając prawdopodobieństwo zabicia lub trwałego kalectwa. Wiele rodzajów tkanek, włączając nerwy i mięśnie, nie może być zregenerowana. 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, np. amnezję, utratę wzroku, paraliż. Także uszkodzenia innych narządów, mniej ważnych mogą być nieodwracalne. 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, 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 uszkodzenie 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. Rozumowanie takie jest pewnym uzasadnieniem wybranego uzbrojenia, lecz należy pamiętać, że w państwie demokratycznym ocena prawna takiego wyboru zarezerwowana jest dla określonych instytucji. 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 $400 \cdot 10^{-3}$ kg 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 wojny pewnych rodzajów klasycznej amunicji. Przez ostatnie 100 lat Deklaracja ta była powszechnie uznawana nawet przez państwa, które jej nie podpisały. Deklaracja haska ustanowiła pewien standard prawa międzynarodowego.
- 4) W roku 1994 podczas spotkania ekspertów Międzynarodowego Czerwonego Krzyża szwajcarska delegacja przedstawiła dokument pt. *Draft protocol on small caliber weapon systems*, w którym stwierdzono, że w związku z rozwojem „technologii zabijania” [41] 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 podobne jak pociski grzybujące. 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) [40], 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. W tym samym celu funkcjonariusze służb porządkowych powinni być wyposażeni w tarcze, hełmy, kamizelki kuloodporne, pojazdy opancerzone, aby ograniczyć za wszelką cenę użycie broni strzeleckiej.

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, że nawet dobrze wyszkoleni żołnierze i policjanci stosując taką broń spowodowali śmierć przeciwnika.

4. Naboje pistoletowe i rewolwerowe

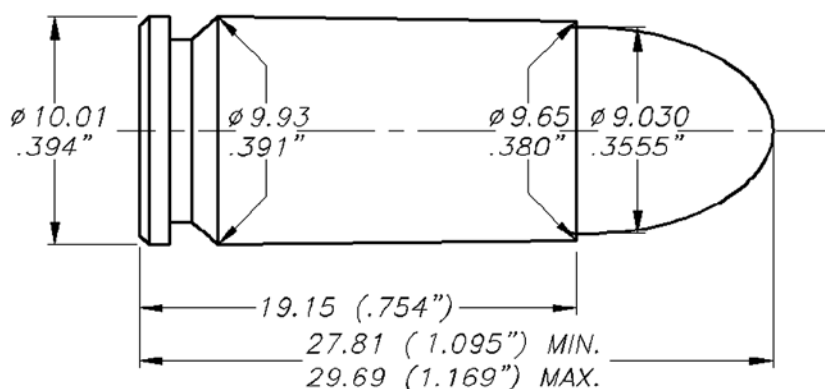
4.1. Budowa wybranych nabojów

Najstarszym nabojem standardowym w grupie amunicji stosowanej do samopowtarzalnej i samoczynnej broni krótkiej jest nabój 9×19 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.

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 [8]. Jego konstrukcja różniła się znacznie od konstrukcji nabojów do broni krótkiej, stosowanych pod koniec XIX wieku, scalanych najczęściej w łuskach cylindrycznych z wystającą kryzą. Pocisk do pistoletu Borchardta o średnicy $7,8 \cdot 10^{-3}$ m i masie $5,5 \cdot 10^{-3}$ kg osadzano w zwężonej szyjce mosiężnej łuski butelkowego kształtu bez wystającej kryzy, zamiast której równolegle do krawędzi podstawy na całym obwodzie nacinano rowek. W roku 1893 konstrukcja tego naboju została wykorzystana podczas prac nad nabojem do pistoletu – 7,63 mm Mauser. W roku 1903 nabój o podobnych wymiarach, ale o znacznie słabszym ładunku prochowym, został zastosowany w pistolecie Mannlichera model 1903. Georg Luger pod koniec lat 90. XIX wieku udoskonalił konstrukcję pistoletu Borchardta, uzyskując broń poręczną i celną, lecz nie wolną od poważnych wad. Jej budowa była skomplikowana, a technologia kosztowna. Sprawiała również duże problemy eksploatacyjne. Była bardzo wrażliwa na jakość amunicji i ze względu na konstrukcję zamka bardziej podatna na wszelkie zanieczyszczenia niż wiele konkurujących z nią pistoletów. Pistolet Lugera został przyjęty w 1901 roku na wyposażenie przez armię szwajcarską (pistolet 7,65 mm model 1900), jako pierwszy w historii pistolet automatyczny. W Niemczech używany był przez 40 lat, w tym w czasie dwóch wojen światowych. Luger podejmując pracę nad udoskonaleniem broni 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 $0,5 \cdot 10^{-3}$ kg. Zachował butelkowy kształt łuski zapewniający jej dużą pojemność, zmienił jej wymiary, skracając do $21,6 \cdot 10^{-3}$ m. W efekcie powstał nabój $7,65 \times 22$ mm Luger o trochę mniejszych wymiarach, lecz o zbliżonych do naboju Borchardta charakterystykach balistycznych. Pocisk o masie $6 \cdot 10^{-3}$ kg 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 tym okresie w armiach europejskich upowszechnił się pogląd, że tzw. moc obezwładniająca pocisków mniejszych kalibrów niż 9 mm (rozumiana jako zdolność pocisku do obezwładnienia przeciwnika w wyniku jednego trafienia) nie odpowiada potrzebom wojska. Na poglądy o skuteczności krótkiej broni palnej w dużej mierze wpływały doświadczenia z amerykańskich wojen na Kubie i Filipinach. W latach 1902-1904 na zamówienie zakładu niemieckiego DWM (niem. *Deutsche Waffen und Munitionsfabrik*) Luger skonstruował nabój kalibru 9 mm. Konstruktor zrezygnował z butelkowego kształtu łuski i skrócił ją do $19,3 \cdot 10^{-3}$ m, zachował średnicę zewnętrzną części dennej. Pocisk o średnicy $9,02 \cdot 10^{-3}$ m 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 (rysunek 9). 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 9×19 mm. W Stanach Zjednoczonych upowszechniła się nazwa 9 mm Luger.



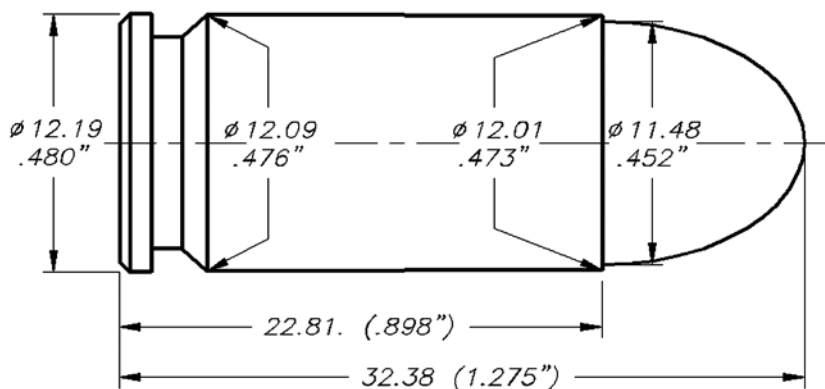
Rys. 9. Nabój pistoletowy 9×19 mm Parabellum (9 mm Luger) [85]

Nabój 9 mm Parabellum przed I wojną światową został przyjęty przez armie kilku krajów europejskich, np. Holandię i Bułgarię. W okresie późniejszym jego popularność wzrosła nawet w krajach neutralnych, takich jak Szwajcaria i Szwecja. Główną przyczyną ciągłego wzrostu zainteresowania tym nabojem były zalety użytkowe pistoletu Parabellum. Powstały również inne bardzo popularne konstrukcje pistoletów na nabój 9×19 mm, np. belgijski Browning Mod. 35 HP stosowany w czasie II wojny światowej, fiński pistolet Lahti, zewnętrze podobny do Parabellum, różniący się jednak zastosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, 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 Johna Mosesa Browninga, które z powodu jego współpracy z belgijską firmą FN (franc. *Fabrique Nationale d'Arms de Guerre*) były obecne na europejskim rynku. Poważną konkurencję dla naboju 9×19 mm stanowił nabój 9×23 mm Bayard z 1901 roku o podobnych właściwościach balistycznych, ale posiadający łuskę o większej pojemności. Nabój ten został zastosowany po raz pierwszy w pistolecie skonstruowanym przez T. Bergmanna pod nazwą Mars. Na broń tę, będącą pierwszym i jedynym w tym czasie automatycznym pistoletem kalibru 9 mm, duże zamówienie złożyła armia hiszpańska. O niepowodzeniu tego naboju w rywalizacji z nabojem 9 mm Lugerą przesądziły nie najlepsze właściwości użytkowe pistoletu (nieporęczny, ciężki, źle wyważony). W Hiszpanii jednak nabój 9×23 mm Bayard został przyjęty jako standardowy nabój wojskowy i był długo stosowany. Podobny pod względem konstrukcji i parametrów balistycznych nabój 9×23 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 naboju Browninga zwłaszcza jeden z nich 7,65×17 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. Kolejny nabój 9 mm Browning Long, wprowadzony przez firmę FN w 1903 roku wraz z pistoletem Browning model 1903, okazał się znacznie słabszy nie tylko od naboju Luger, ale również od wcześniejszego .38 ACP. Przez pewien czas stosowany był jako nabój wojskowy w Szwecji. 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.

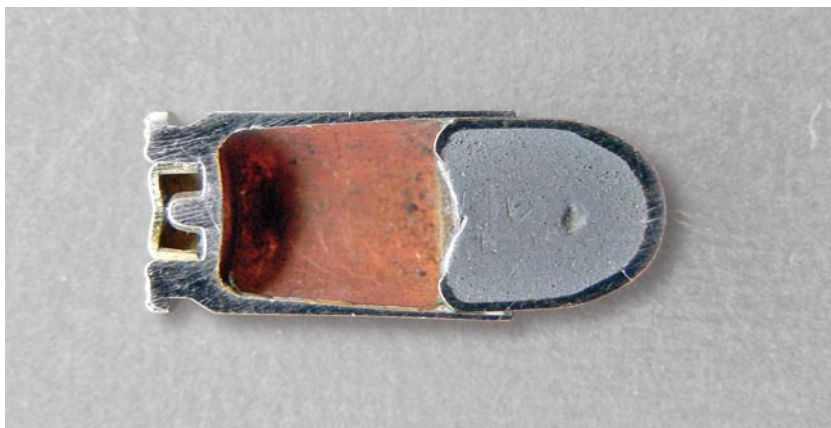
Nabój .38 Colt Automatic, zaprojektowany w 1900 roku jako nabój wojskowy, mimo łuski dłuższej o $4 \cdot 10^{-3}$ m, ustępował nieco pod względem prędkości i energii początkowej pocisku naboju 9 mm Luger. Odnosił umiarkowany sukces w Stanach Zjednoczonych. W roku 1929 na jego podstawie skonstruowa-

no 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 – 11,43×23 mm (rysunek 10). Dlatego uzyskał jedynie pewną popularność jako nabój sportowy.



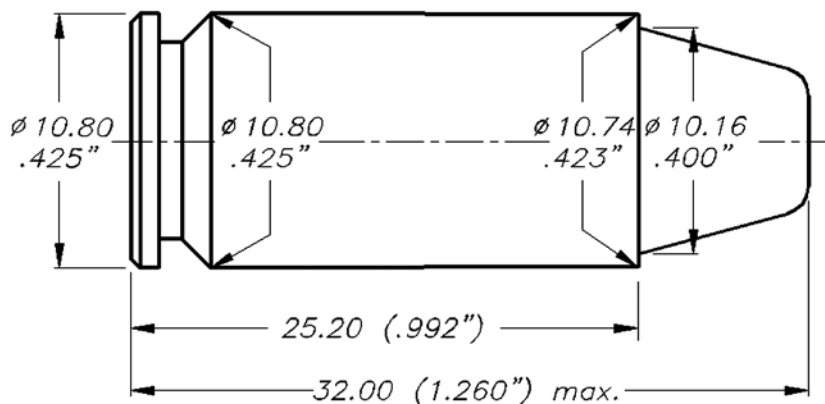
Rys. 10. Nabój .45 ACP (Automatic Colt Pistol) [85]

Od momentu powstania pistoletu Colt wz. 1911 nabój pistoletowy .45 ACP przez długi czas (do 1985 roku) był przepisowym nabojem w armii amerykańskiej, z pociskiem płaszczykowym zwykłym M1911 oraz z 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 $21,4 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku prochowego $0,33 \cdot 10^{-3}$ kg, masa pocisku zwykłego $15,16 \cdot 10^{-3}$ kg, masa pocisku smugowego $13,48 \cdot 10^{-3}$ kg. Długość naboju wynosi 0,0324 m, długość pocisku 0,0168 m, długość łuski 0,0228 m. Ciśnienie maksymalne zawiera się w przedziale od 105 MPa do 112 MPa. Prędkość początkowa pocisku wystrzelonego z lufy o długości 0,1276 m wynosi 250 m/s. Energia kinetyczna początkowa pocisku zwykłego wynosi 474 J. W roku 1951 do uzbrojenia armii rosyjskiej wprowadzono wraz z pistoletem nabój 9×18 mm (rysunek 11). Początkowo produkowano go z pociskiem z rdzeniem stalowym, a później z rdzeniem ołowianym. Masa naboju wynosi $10 \cdot 10^{-3}$ kg, masa pocisku $6,1 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku prochowego $0,25 \cdot 10^{-3}$ kg. Długość naboju wynosi $25,1 \cdot 10^{-3}$ m, długość pocisku $11,15 \cdot 10^{-3}$ m. Ciśnienie maksymalne podczas strzału osiąga wartość 118 MPa, a prędkość początkowa pocisku wystrzelonego z lufy o długości $93 \cdot 10^{-3}$ m wynosi 315 m/s.

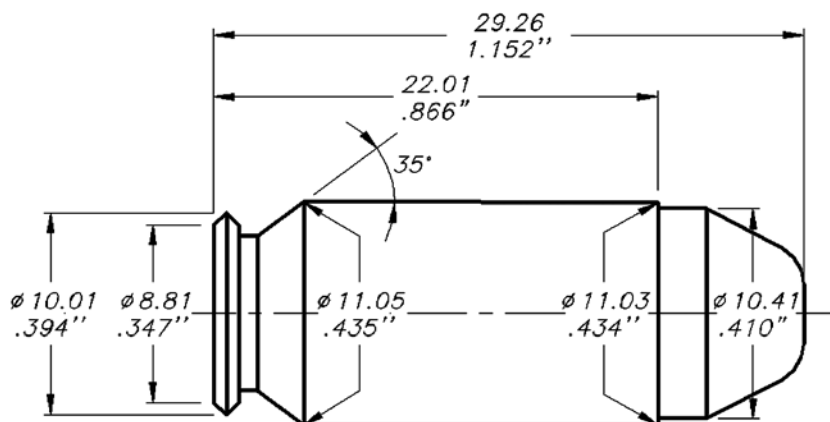


Rys. 11. Nabój 9x18 mm Makarow

W roku 1983 w USA zaprezentowano nabój 10 mm Auto (rysunek 12). 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 $12,96 \cdot 10^{-3}$ kg 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 $11,66 \cdot 10^{-3}$ kg 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. FBI). Poza USA 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 $10 \cdot 10^{-3}$ kg do $11,66 \cdot 10^{-3}$ kg.

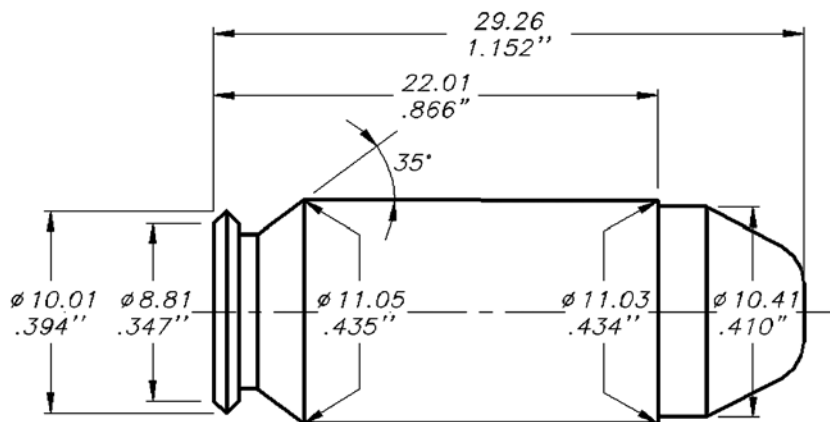


Rys. 12. Nabój 10 mm Auto [85]



Rys. 13. Nabój .41 Action Express (10,41x22 mm) [85]

W roku 1987 w USA przedstawiono nabój .41 Action Express – 10,41×22 mm (rysunek 13). 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 $12,96 \cdot 10^{-3}$ kg wynosi 623 J, a pocisku o masie $11,02 \cdot 10^{-3}$ kg 825 J.



Rys. 14. Nabój .40 Smith&Wesson (10,11x22 mm) [85]

W roku 1990 w USA przedstawiono nabój .40 Smith&Wesson (S&W) – 10.11×21,60 mm (rysunek 14). 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 $11,66 \cdot 10^{-3}$ kg zawiera się w przedziale od 453 J do 497 J. Pociski lżejsze o masie $10,04 \cdot 10^{-3}$ kg uzyskują energię kinetyczną do 630 J. Nabój .40 S&W przyjęto do uzbrojenia w amerykańskich oddziałach służb bezpieczeństwa.

Przed II wojną światową pistolety i pistolety maszynowe wykorzystujące nabój 9 mm Parabellum stosowano również w: Polsce, Czechosłowacji, Belgii, Finlandii, Szwecji, Szwajcarii. Aktualnie nabój ten produkowany jest blisko w 70 krajach i stał się prawdziwym światowym kalibrem standardowym pistoletów i pistoletów maszynowych. Pozycja jego 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 $7,45 \cdot 10^{-3}$ kg, 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 $8,03 \cdot 10^{-3}$ kg, który uzyskuje prędkość początkową 375 m/s i energię 565 J.

Nabój 9 mm Parabellum Luger'a odniósł ogólnoświatowy sukces nie dlatego, że był najlepszym nabojem pistoletowym, lecz dlatego, że stanowił najkorzystniejszy wybór w określonym miejscu i czasie. Jego sukcesy wynikały z potęgi standardu: masowości 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 z wszystkimi możliwymi do skonstruowania pociskami, nie wyłączając pocisków z tworzyw sztucznych. Najpopularniejszy jest pocisk pełnopłaszczowy (ang. FMJ – *full metal jacket*). Występują też pociski: przeciwpancerne, przeciwpancerno-zapalające, smugowe, pozoracyjne, o ograniczonym zasięgu, z subpociskami, z wgłębieniem w wierzchołku, z miękkim wierzchołkiem, THV, EMB i wiele innych. Zmiany konstrukcyjne w budowie naboju 9 mm Parabellum wynikały ze względów oszczędnościowych lub z powodu nowych wymagań odnośnie do 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 do 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 aluminiumowymi. W zależności od przeznaczenia pocisku i od producenta masa pocisków wynosi od $2,20 \cdot 10^{-3}$ kg do $9,25 \cdot 10^{-3}$ kg, a masa ładunku prochowego od $0,24 \cdot 10^{-3}$ kg do $0,42 \cdot 10^{-3}$ kg. 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 grzybujące, niegrzybujące, ulegające fragmentacji. Pociski niegrzybujące w pełnym płaszczu metalowym cechują się dużą głębokością penetracji.



Rys. 15. Nabój 9x19 mm Parabellum Action 4 [83], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>

W pociskach przeciwpancernych znajduje się gęsty rdzeń 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 grzybujące: półpłaszczowe z wgłębieniem wierzchołkowym, półpłaszczowe z miękkim wierzchołkiem oraz konstrukcje szczególne (rysunek 15) w procesie grzybkowania zwiększają znacznie swoją średnicę, co powoduje, że osiągają wysoką zdolność do obezwładniania. W pociskach podwójnego działania gęsty rdzeń ma za zadanie przebić się przez pancerz, a łatwo grzybujący 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.

Polskie naboje 9 mm Parabellum produkowane są z następującymi pociskami: pocisk pełnopłaszczowy, pocisk półpłaszczowy z miękkim wierzchołkiem, pocisk ołowiany bez płaszcza z zaokrągloną częścią głowicową, pocisk antyrykoszetowy i pocisk o zwiększonej sile przebicia.

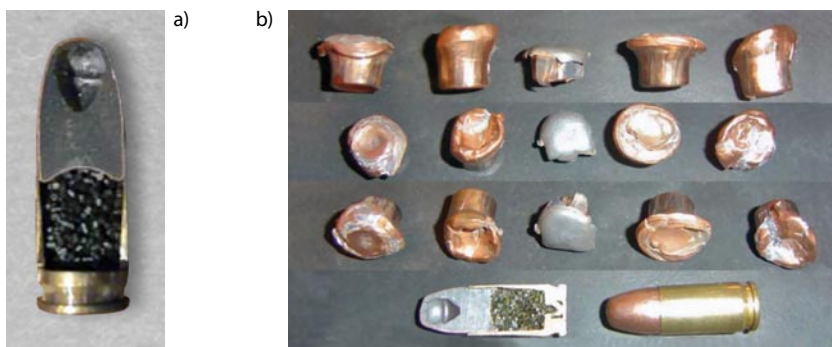
Z przeprowadzonej dotychczas analizy wynika, że obecnie prace nad budową naboju pistoletowych zmierzają do rozwiązania trzech problemów:

- 1) zwiększenia zdolności obezwładniającej pocisku przy rażeniu nieosłoniętego celu żywego (rysunek 16),
- 2) ograniczenia możliwości ranienia osób przypadkowych (rysunek 17),
- 3) zwiększenia zdolności przebicia lekkich pancerzy osobistych, zwłaszcza kamizelek kuloodpornych, które mają obecnie tak dobre własności ochronne, że zwykle pociski pistoletowe są przez nie skutecznie zatrzymywane.

Rozwiązanie tych problemów w pewnym zakresie można osiągnąć zmieniając budowę naboju i zwiększając prędkość początkową pocisku. 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. Amunicja ta występuje w różnych kalibrach, np.: .32 ACP, 7,65 mm Auto, .38 Special, .357 Magnum, 9×19 mm Parabellum, .45 ACP (rysunek 18).



Rys. 16. Zdjęcie pocisku naboju niemieckiej firmy MEN 9×19 mm QD1 po zderzeniu z celem oraz przekrój i widok naboju (w dolnej części) [83], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>



Rys. 17. Zdjęcie naboju 9x19 mm fińskiej firmy SAKO z pociskiem antyrykoszetowym KPO a) przekrój naboju, b) pocisk po zderzeniu z celem oraz przekrój i widok naboju (w dolnej części) [83], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>



Rys. 18. Naboje z pociskiem typu THV – od lewej: a) .32 ACP, b) 7,62x25 mm, c) 9x19 mm, d) .357 Magnum, e) 5,56x45 mm, f) 7,62x51 mm [54], dzięki uprzejmości Pana Tony Williams, www.quarry.nildram.co.uk

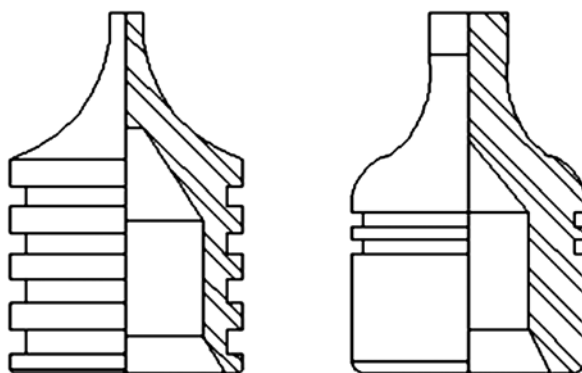
W porównaniu z pociskami zwykłymi, pociski THV wykonane są z miedzi i są równie celne, ale ich prędkość początkowa jest dwa razy większa. Dzięki temu mają bardzo dużą zdolność przebijania różnych przeszkód, np. karoserii samochodów, a po przebicu zachowują jeszcze zadawalającą zdolność rażenia celów żywych. Duża prędkość początkowa pocisku THV wynika z jego budowy. Wewnętrzne wgłębienie (rysunek 19) pozwala zaelaborować większy ładunek.

nek prochowy niż w zwykłych nabojach, a jednocześnie powoduje zmniejszenie masy pocisku. Dzięki temu np. pociski 9×19 mm Parabellum osiągają prędkość początkową 620 m/s z pistoletu samopowtarzalnego i 740 m/s z pistoletu maszynowego (tabela 9).

Tabela 9. Wybrane parametry nabojów z pociskiem typu THV [54]

Oznaczenie naboju	Długość lufy pistoletu [·10 ⁻³ m]	Masa pocisku [·10 ⁻³ kg]	Prędkość wylotowa [m/s]	Grubość przebijanej płyty stalowej [·10 ⁻³ m]	Głębokość penetracji* [·10 ⁻³ m]
.32 ACP	127	1,25	780	2,0	100
.38 SPECIAL	152	2,90	720	3,0	130
.38 SPECIAL	102	2,90	690	–	–
.38 SPECIAL	51	2,90	610	–	–
.357 MAGNUM	152	2,90	780	3,5	140
.357 MAGNUM	102	2,90	740	–	–
.357 MAGNUM	76	2,90	675	–	–
.357 MAGNUM	63	2,90	640	–	–
9x19 Parabellum	114	2,90	620	–	–
9x19 Parabellum	225	2,90	740	3,0	120
.45 ACP	127	3,90	620	3,0	100

* penetracja w bloku plasteliny



Rys. 19. Schemat budowy pocisków typu THV o kalibrze 9 mm [54]

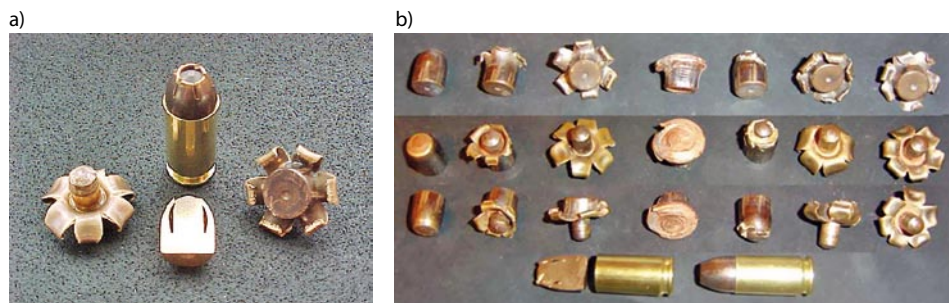
Energia początkowa pocisku wynosi około 600 J natomiast masa od $2,2 \cdot 10^{-3}$ kg do $3,12 \cdot 10^{-3}$ kg. Pociski THV mogą przebić płytę stalową o grubości $3 \cdot 10^{-3}$ m, ale tylko z niewielkiej odległości, ponieważ mała masa pocisku i jego kształt sprawia, że traci on energię na torze 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. Małe jest również prawdopodobieństwo przebicia kadłuba i rozhermetyzowania samolotu oraz wystąpienia rykoszetów.

Amunicję przeznaczoną dla służb specjalnych opracowała również angielska firma Conjay Arms. Pociski przeciwpancerne tej firmy, oznaczone CBAP, o kalibrze 9×19 mm Parabellum i .357 Magnum, przebijają płyty stalowe o grubości odpowiednio $5 \cdot 10^{-3}$ m oraz $8,7 \cdot 10^{-3}$ m. 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 [66], nie powoduje większego zużycia lufy, niż przy stosowaniu pocisków zwykłych o takiej samej prędkości początkowej.

Uderzenie pocisku CBAP w pancerz powoduje wyrwanie odłamków, o dużej sile rażenia, z tylnej powierzchni pancerza. Są one również zdolne do uszkodzenia silników samochodowych. Prędkość początkowa pocisków CBAP o kalibrze 9×19 mm Parabellum wynosi 510-520 m/s, a pocisków .357 Magnum 680-700 m/s. Pociski CBX do zwalczania celów żywych, jeśli chodzi o wygląd, nie wyróżniają się żadną cechą szczególną, taką jak: wklęsły ostrołuk, szczeliny w płaszczu czy goły 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 $16 \cdot 10^{-3}$ m, ale nie pęka. Natomiast grzybek z pocisku CBX o kalibrze .357 Magnum ma średnicę jeszcze większą, pęka i tworzy krater o średnicy $75 \cdot 10^{-3}$ m i głębokości $80 \cdot 10^{-3}$ m.

W Austrii wyprodukowano pociski o nazwie EMB (ang. *expansions monoblock bullet*), przeznaczone do nabojów bojowych używanych w broni krótkiej i pistoletach maszynowych (rysunek 20). Łuska naboju wykonana jest z mosiądzu CuZn 30.



Rys. 20 . Naboje z pociskiem typu EMB: a) nabój .40 S&W, z przodu przekrój pocisku oraz grzybkowane pociski po strzeleniu do żelatyny balistycznej, dzięki uprzejmości Pana K. Wiszniewskiego <http://www.giwera.pl/> [74], b) zdeformowane pociski naboju 9x19 mm po strzeleniu do różnych celów [83], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>

Pocisk EMB wykonany jest z mosiądzu CuZn 10 i nie ma rdzenia ołowianego (rysunek 20). Konstrukcja jego jest zbliżona do konstrukcji pocisków półpłaszczowych, co zapewnia szybkie i łatwe grzybkowanie w żywym organizmie i jednocześnie duże zdolności penetracyjne po trafieniu w twardą przeszkodę.

Przy strzelaniu do przestępcy nie istnieje ryzyko, że pocisk po przebicju jego ciała zrani osobę postronną. Strzały testowe do żelatyny balistycznej potwierdzają, że pocisk zatrzymuje się na głębokości do $200 \cdot 10^{-3}$ m. Pocisk EMB umożliwia także przestrzelenie typowych zasłon wykorzystywanych w pojedynkach ogniowych (drzwi mieszkania lub samochodowe, szyby samochodowe, blachy stalowe itp.). Po przebicju 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 (rysunek 21). Zastosowanie stopu miedzi obniżyło masę pocisku i jednocześnie pozwoliło na zwiększenie prędkości wylotowej. Energia kinetyczna pocisku (do naboju 9 mm Parabellum) typu EMB jest większa o 30%, w porównaniu ze standardowym pociskiem pełnopłaszczowy o tym kalibrze. Przy masie pocisku $5 \cdot 10^{-3}$ kg osiąga on wylotową energię kinetyczną 650 J (strzał oddany z balistycznej lufy NATO o długości 0,2 m, 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 nabojów z pociskami typu EMB przedstawione są w tabeli 10.

a)



b)



c)



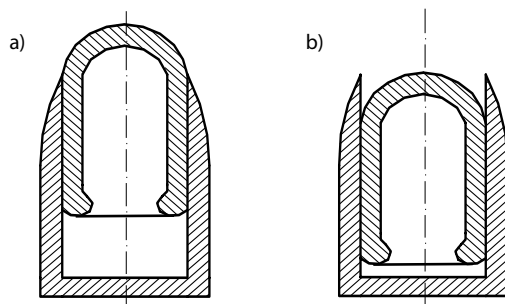
Rys. 21. Zdjęcia pocisków EMB naboju 9x19 mm Parabellum przebijających przeszkodę zbudowaną z płyt stalowych o grubości $1 \cdot 10^{-3}$ m: a) pocisku przebijającego 6 płyt, b) pocisku po przebicju 6 płyt, c) pocisku w trakcie przebijania płyty [75], dzięki uprzejmości Pana Werner Mehl, Kurzzeitmesstechnik, www.kurzzeit.com

Tabela 10. Wybrane parametry balistyczne nabojów z pociskami typu EMB [75]

Pocisk	9x19 mm Luger	9x19 mm Luger	.38 Special	.357 SIG	.357 Magnum	.40 S&W	10 mm Auto	.45 ACP
Masa pocisku [$\cdot 10^{-3}$ kg]	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 0,1 m

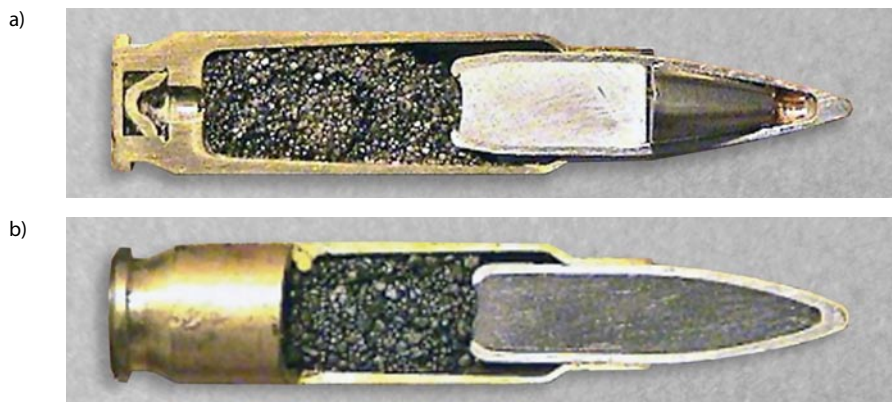
Nabojem o podobnym działaniu jest nabój 9 mm SWISS P Luger SeCa (ang. *security cartridge*), tzw. nabój bezpieczny. Nabój z pociskiem o masie $6,5 \cdot 10^{-3}$ kg wytwarza ciśnienie maksymalne 250 MPa. Pocisk ten uzyskuje prędkość początkową 395 m/s i energię 507 J. Pocisk tego naboju cechuje dobra zdolność penetracji twardych materiałów. Zachowuje się wtedy podobnie jak nabój pełnopłaszczowy. W miękkim podłożu istnieje możliwość sterowania stopniem deformacji i przekazywaniem energii. Pocisk jest dwuczęściowy (rysunek 22), wykonano go ze stopu miedzi (CuZn5) i nie zawiera ołowiu. Po zainicjowaniu strzału rdzeń przesuwają się w głąb pocisku pod wpływem działania siły bezwładności. W momencie zderzenia z celem następuje inicjacja deformacji na częściowo otwartym wierzchołku pocisku.



Rys. 22. Schemat budowy pocisku naboju 9 mm SWISS P Luger SeCa: a) pocisk przed wystrzałem, b) pocisk po wystrzale [90]

W różnych państwach europejskich od końca XX wieku prowadzone są prace badawcze nazwane CRISAT (ang. *collaborative research into small arms technology*), mające na celu przyjęcie do uzbrojenia nowych modeli małokalibrowej amunicji strzeleckiej. Zastosowanie tej amunicji przewidziane jest w nowej broni do obrony osobistej, określanej jako PDW (ang. *personal defence weapon*). Taka

broń o nieznacznych rozmiarach, pozwalająca oddać skuteczny strzał na odległość 100 m do 200 m znajduje głównie zastosowanie dla: członków załóg wozów bojowych, lotników, saperów, funkcjonariuszy sił porządkowych. Opracowywana nowa amunicja pistoletowa ma konstrukcję zbliżoną od amunicji pośredniej. 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 nabojów w tej grupie amunicji są naboje belgijskie kalibru 5,7×28 mm (tabela 11), przeznaczone do strzelania z pistoletu Five-seven lub pistoletu maszynowego FN P90.



Rys. 23. Nabój belgijski kalibru 5.7x28 mm: a) SS190, b) poddźwiękowy Sb193 [83]], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>

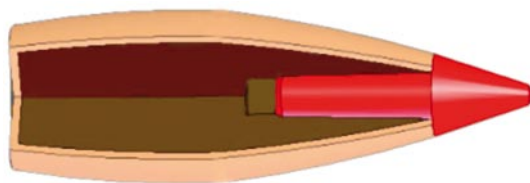
Nabój SS190 (przeciwpancerny) o długości $40,5 \cdot 10^{-3}$ m, masie $6,03 \cdot 10^{-3}$ kg posiada pocisk o masie $2,07 \cdot 10^{-3}$ kg, ładunek miotający o masie $0,42 \cdot 10^{-3}$ kg i wytwarza ciśnienie maksymalne w komorze naboju 345 MPa. Prędkość wylotowa 716 m/s z lufy o długości 0,249 m 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 0,229 m. Rdzeń naboju SS190 jest dwuczęściowy i składa się ze stalowego penetratora w części wierzchołkowej i aluminiowego cylindra w części środkowej (rysunek 23). Po między penetratorem a płaszczem jest duża pustka powietrzna. Płaszcz pocisku jest stalowy, platerowany miedzią. Pocisk SS192 z wklęsniętym 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 wklęsnięty, rdzeń pocisku jest aluminiowy, a płaszcz wykonany jest z miedzi.

Pociski w nabojach SS196SR i SS197SR różnią się nieznacznie prędkością. Pociiski te z wklęsnięciem wierzchołkowym mają płaszcz miedziany, rdzeń ołowiany, a wierzchołek wykonany jest z poliwęglanu, co powiększa ekspansję po zderzeniu z celem (rysunek 24).

Tabela 11. Niektóre parametry nabojów belgijskich kalibru 5,7x28 mm

Oznaczenie naboju	SS190	SS191	SS192	Sb193	SS195LF	SS196SR	SS197SR
Masa pocisku [$\cdot 10^{-3}$ kg]	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 wklęsniętym wierzchołkiem	FMJBT poddźwiękowy	półpłaszczowy z wklęsniętym wierzchołkiem	V-Max	V-Max
Zasięg [m]	200	200	200	100	200	200	200

* Prędkość wylotowa z pistoletu maszynowego P90, z lufy o długości 0,254 m



Rys. 24. Schemat budowy pocisku półpłaszczowego typu V-Max do naboju kaliber 5.7x28 mm SS196SR [78]

Naboje niemieckie kalibru 4,6x30 mm (rysunek 25) o masie $6,5 \cdot 10^{-3}$ kg, długości $38,5 \cdot 10^{-3}$ m zaprojektowano do pistoletu maszynowego HK MP7 PDW. Energia wylotowa pocisku pełnopłaszczowego (płaszcz stalowy platerowany miedzią) z rdzeniem z hartowanej stali o masie $1,6 \cdot 10^{-3}$ kg wynosi około 420 J (prędkość wylotowa 725 m/s z lufy o długości 0,178 m). 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 $150 \cdot 10^{-3}$ m. Pocisk ten wzorcową płytę CRISAT może przebić z odległości 200 m, hełm PASGT oraz 22 warstwy Kevlaru® przebija z odległości 50 m.

Nabój szwedzki 6,5x25 mm zaprojektowany został do pistoletu Saab Bofors CBJ-MS PDW. Jest to nabój podkalibrowy o długości $29,7 \cdot 10^{-3}$ m i masie $4,5 \cdot 10^{-3}$ kg, charakteryzujący się tym, że pocisk znajduje się w plastikowym

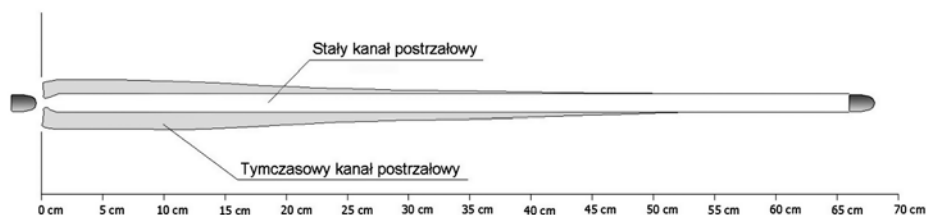
sabocie, a łuska jest aluminiowa. Masa pocisku wynosi $2,07 \cdot 10^{-3}$ kg, jego rdzeń o średnicy $4 \cdot 10^{-3}$ m wykonany jest z węgla wolframu. Prędkość wylotowa pocisku z lufy o długości 0,178 m jest 815 m/s, w odległości 200 m od wylotu z lufy wynosi 632 m/s, a w odległości 400 m – 468 m/s. Pocisk ten przebija płytę CRISAT z odległości 400 m, a płytę pancerną o grubości 0,007 m z odległości 200 m.



Rys. 25. Zdjęcia nabojów: od lewej; 4,6x30 mm HK, 5,7x28 mm FN, 9x19 mm NATO, .45 ACP [55], dzięki uprzejmości Pana Tony Williams, www.quarry.nildram.co.uk/

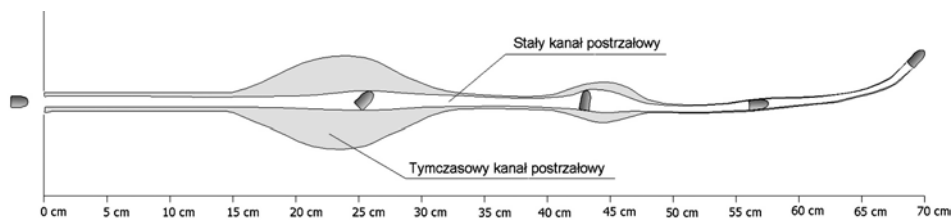
4.2. Balistyka końcowa pocisków pistoletowych i rewolwerowych w ośrodkach zastępczych

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). Model rany w żelatynie balistycznej spowodowanej pociskiem pistoletowym – rysunek 26 (najczęściej tor tego pocisku jest prostoliniowy i nie wykonuje on ruchu obrotowego wokół osi poprzecznej), zbudowany jest ze stałego i tymczasowego kanału postrzałowego. Wielkość tymczasowego kanału postrzałowego (chwilowej jamy postrzałowej) jest nie większa niż 10 kalibrów pocisku.



Rys. 26. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .45 ACP (prędkość 265 m/s, masa pocisku $14,9 \cdot 10^{-3}$ kg) [14]

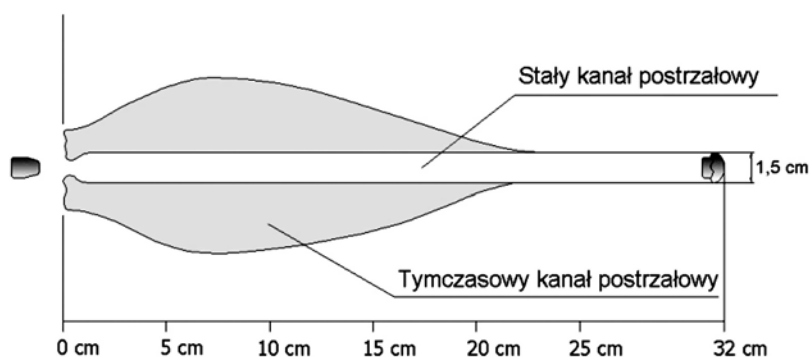
Ilość energii kinetycznej przekazywanej ośrodkowi przez pocisk pistoletowy lub rewolwerowy jest za mała, aby spowodować uszkodzenia dalej położonych tkanek, jakie może wytworzyć pocisk karabinowy o dużej prędkości. Zniszczenia powodowane przez pocisk pistoletowy są więc następstwem występowania dwóch 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 (rysunek 27).



Rys. 27. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru 9 mm NATO (prędkość 352 m/s, masa pocisku $8 \cdot 10^{-3}$ kg) [14]

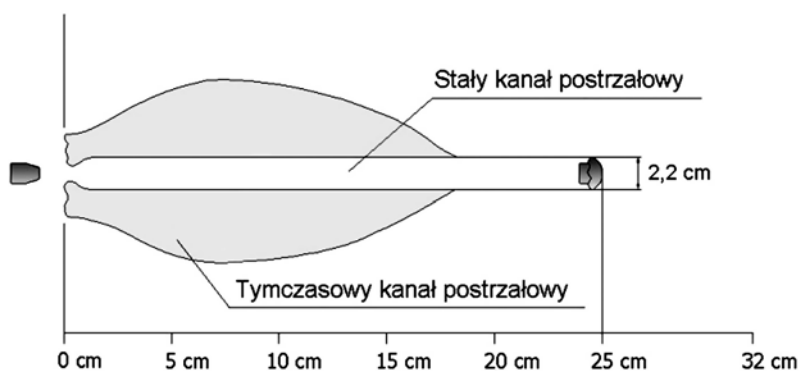
Pociski pistoletowe z powodu małej prędkości, po wnikięciu w tkanki organizmu raczej nie ulegają fragmentacji. Jeżeli nie występuje fragmentacja pocisku w organizmie, to zniszczenia tkanek spowodowane chwilową jamą postrzałową mogą być pominięte, często nawet przy pociskach karabinowych o dużej prędkości. Lekarze – patolodzy nie zawsze mogą rozróżnić ranę spowodowaną pociskiem grzybkującym (duża chwilowa jama postrzałowa – rysunek 28) od rany spowodowanej pociskiem pełnopłaszczowym tego samego kalibru (mała chwilowa jama postrzałowa). Pod względem fizycznym rany te mogą się nie różnić. W tych przypadkach, gdy wystąpiła jednak mimo wszystko fragmentacja poci-

sku, jego odłamki znajdują się w odległości do 0,01m od kanału postrzałowego, co znacznie ułatwia ich usunięcie.



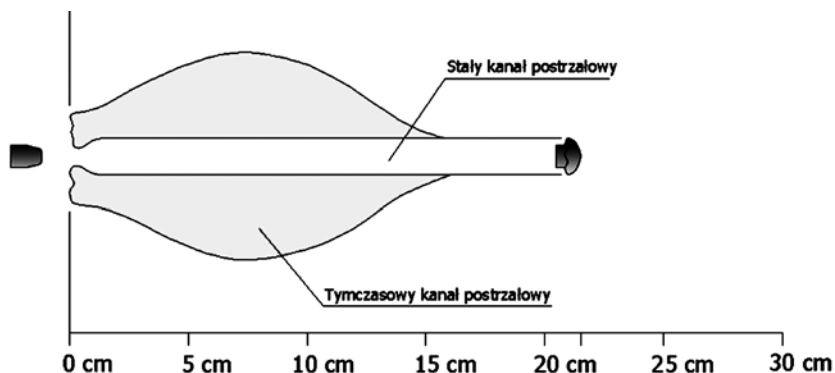
Rys. 28. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .38 FBI (prędkość 268 m/s, masa pocisku $10,24 \cdot 10^{-3}$ kg) [14]

Opracowano wiele rodzajów pocisków pistoletowych, aby zwiększyć efektywność ranienia. Najbardziej udanym jest pocisk półpłaszczowy z wklęsniętym wierzchołkiem 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 – rysunek 29. 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.

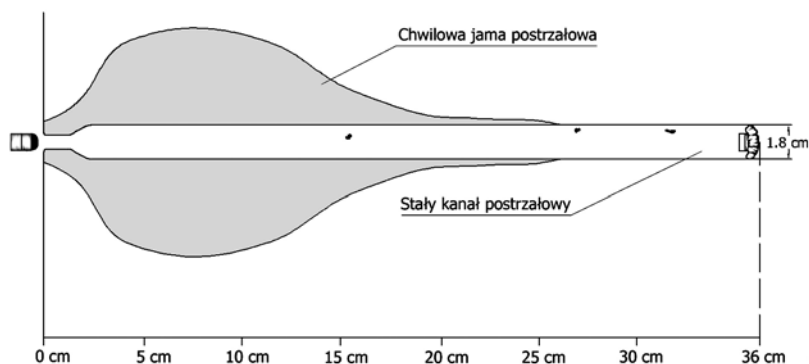


Rys. 29. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .45 Auto Silvertip półpłaszczowego (prędkość 287 m/s, masa pocisku $12 \cdot 10^{-3}$ kg), z wklęsniętym wierzchołkiem [14]

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.



Rys. 30. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .38 półpłaszczowego (prędkość 285m/s, masa $7,13 \cdot 10^{-3}$ kg) z wklęśniętym wierzchołkiem [14]



Rys. 31. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej po penetracji pocisku kalibru .357 Magnum JSP (prędkość 425 m/s, masa pocisku $8,1 \cdot 10^{-3}$ kg), fragmentacja 2,4% [14]

Z porównania rysunku 28 i rysunku 30 wyraźnie widać, że pocisk o większej masie penetruje ośrodek głębiej. Wymiary kanału postrzałowego mogą być zwiększone poprzez użycie ekspandującego pocisku, pocisku o większej średnicy i/lub o większej prędkości – rysunek 31. 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 wklęśniętego 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 średnicy, będzie miał więcej zalet przy ocenie efektywności ranienia. Będzie on mógł uszkodzić te naczynia krwionośne, które pocisk mniej szy omija. Większy kanał postrzałowy może ułatwić większy krwotok. Aczkolwiek takie dodatkowe zalety niewątpliwie występują, ich znaczenie trudno jest ilościowo ocenić.

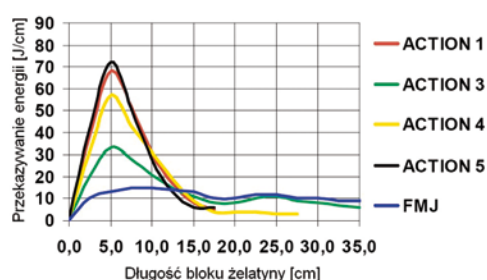
Podobne wnioski wynikają z porównania balistyki końcowej pocisków pełnopłaszczowych kalibru 9 mm Parabellum i .45 ACP. Pociski te mają zbliżoną energię kinetyczną wylotową i zadawałające głębokości penetracji. Pocisk .45 ACP wytwarza kanał postrzałowy o dużej średnicy i dużą chwilową jamę postrzałową. 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. Analizując penetrację na wskroś, nieliczne są przypadki ranienia osób postronnych, natomiast odnotowano liczne przypadki, gdy zginęli żołnierze czy też policjanci z powodu zbyt płytkiej penetracji pocisku.

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 trafionemu człowiekowi. Przy strzelaniu do bloków z plasteliny lub z mydła naboje 9 mm Parabellum, z pociskami typu THV powstaje otwór o średnicy wejściowej około $80 \cdot 10^{-3}$ m. Mała głębokość penetracji spowodowała, że naboje z pociskami THV nie zostały zaakceptowane w USA, co spowodowało zaprzestanie ich produkcji we Francji. Po wprowadzeniu pewnych zmian konstrukcyjnych naboje 9 mm Parabellum z pociskiem typu THV w 1991 roku zostały przyjęte na wyposażenie przez policję w RPA.

a)



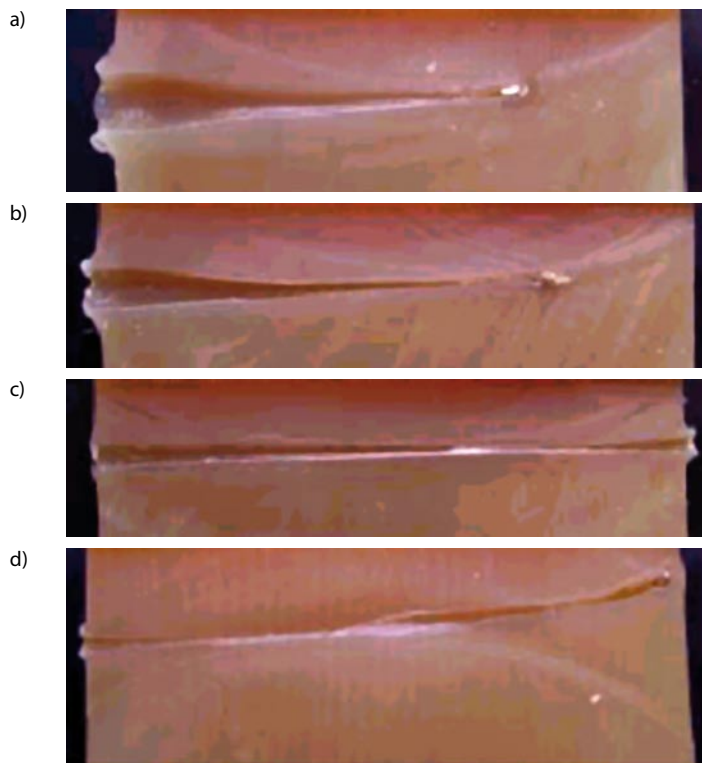
b)



Rys. 32. Pociski typu Action: a) zdjęcie po zderzeniu z żelatyną balistyczną, b) wykres przekazywania energii kinetycznej, dzięki uprzejmości firmy M. K. Szuster, www.szuster.com.pl

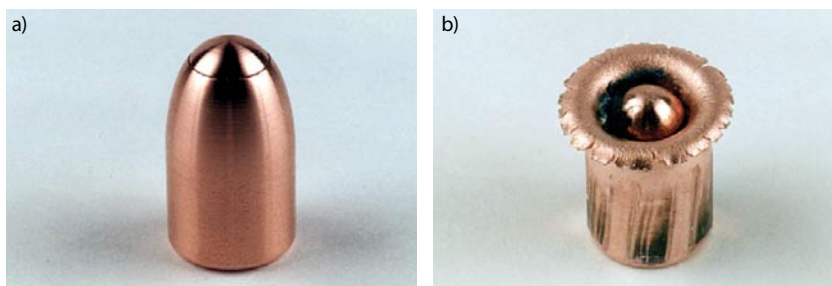
Pociski typu Action (1, 2, 3, 4, 5) firmy Dynamit Nobel, używane są przez policję RFN, po zderzeniu z obiektem ekspandują i bardzo szybko przekazują mu energię kinetyczną. Szybkość ta wynosi maksymalnie od 3300 J/m dla Action 3 do 7200 J/m dla Action 5, po przebyciu drogi $50 \cdot 10^{-3}$ m w bloku żelatyny balistycznej. Głębokość penetracji w żelatynie balistycznej wynosi $170 \cdot 10^{-3}$ m dla pocisków Action 1 i 5, $270 \cdot 10^{-3}$ m dla Action 4 oraz $350 \cdot 10^{-3}$ m dla Action 3 i zależy od kształtu części wierzchołkowej pocisków (rysunek 32).

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 (rysunek 33), lecz nie przekracza 0,27 m.



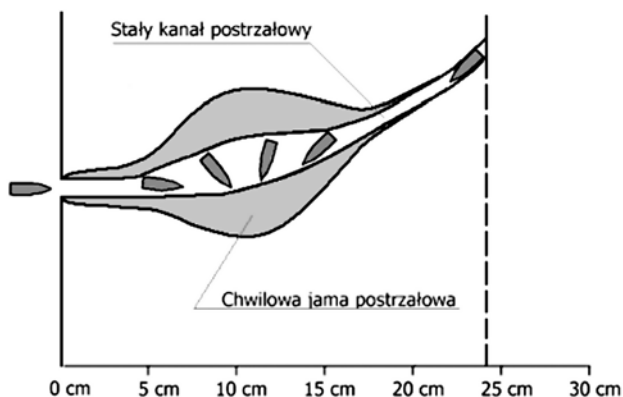
Rys. 33. Penetracja bloku z mydła przez pocisk 9 mm SWISS P SeCa wystrzelony z odległości: a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m [90]

Średnica pocisku po oddaniu strzału i zdeformowaniu w bloku mydła zwiększa się od 0,010 m do 0,012 m (rysunek 34b). Maksymalna średnica jamy postrzałowej wynosi $37 \cdot 10^{-3}$ m.



Rys. 34. Pocisk do naboju 9 mm Swiss P Luger SeCa: a) przed deformacją, b) po deformacji [90]

Pociski wystrzelone z broni PDW penetrują żywy organizm, podobnie jak pociski pośrednie (rysunek 35). Głębokość penetracji pocisku z naboju 5,7×28 mm SS190, w 10% żelatynie balistycznej, wynosi od 0,25 m do 0,30 m, co jest niezadowalające zgodnie z wymaganiami testów FBI. Budowa wewnętrzna pocisku powoduje, że po zderzeniu z żywym organizmem penetruje on prostoliniowo na drodze około 0,05 m, 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 4,6×30 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 $150 \cdot 10^{-3}$ m.



Rys. 35. Schemat kanału postrzałowego w żelatynie balistycznej po zderzeniu pocisku z naboju kalibru 5,7x28 mm SS190 [69]

Należy zauważyć brak rzetelnych naukowych analiz statystycznych (opartych na odpowiednio dużej liczbie przypadków) efektywności zranienia. Ze względu na dużą liczbę zmiennych związanych z budową ciała ludzkiego i z sytuacjami, gdy strzelamy, nawet 100-strzałowa próba jest statystycznie niewystarczająca. Aby ocenić efektywność kalibru pocisku, należy rozważyć ile osób trafionych zostało obezwładnionych i gdzie zostali trafieni. Aby określić sukces czy porażkę, należy ocenić ilu z nich było trafionych w główne organy życiowe (a nie tylko ilu zostało zabitych), a także należy skorelować obezwładnienie dokładnie z tym, co oni robili, gdy zostali trafieni np. czy natychmiast upadli, czy biegli jeszcze przez jakiś czas. Tylko przypadek natychmiastowego upadku jest zadawalający. Wszystkie inne reakcje są nieprawidłowe (w sensie natychmiastowego obezwładnienia), ponieważ pokazują możliwości kontynuowania działania [51].

Wyniki badań laboratoryjnych są zbyt ograniczone różnymi założeniami, aby pokazać całą prawdę o pocisku. Naukowcy pokazują, w jaki sposób można sklasyfikować szkody czynione przez pocisk, jak zrozumieć mechanizmy niszczenia, spowodowane przez pocisk i jego wpływ na ciało ludzkie, oraz jak, opierając się na obiektywnych kryteriach i danych statystycznych, stworzyć bazę wyboru informacji. Różnice między pociskami mogą być małe i nauka pokazuje nam sposoby, jak je zidentyfikować. Prawdziwym testem efektywności pocisku pistoletowego są jednak walki uliczne.

5. Naboje karabinowe i pośrednie

5.1. Budowa wybranych nabojów karabinowych

Różnorodność uzbrojenia strzeleckiego używanego podczas II wojny światowej spowodowała tak dużo problemów logistycznych, że już w 1946 roku w USA, Wielkiej Brytanii i Kanadzie rozpoczęto prace mające na celu znormalizowanie naboju karabinowego i karabinu. Powołany w Wielkiej Brytanii Komitet Badań Idealnego Kalibru opracował nabój o kalibrze 7 mm oznaczony Mk1Z oraz karabin do niego oznaczony EM2. Nabój ten posiadał pocisk o masie $9,09 \cdot 10^{-3}$ kg i energię początkową 2700 J. Przez krótki okres (do 1953 roku) był to nabój znormalizowany tylko w Wielkiej Brytanii. Ostatecznie w 1953 roku przyjęto w państwach NATO jako standardowy nabój kalibru 7,62×51 mm. Decyzja normalizacyjna dotyczyła naboju, ale tylko niektórych jego wymiarów, prędkości, ciśnienia gazów prochowych. Normalizacja nie dotyczy, budowy łuski i zastosowanych materiałów [92]. Nie ustalono też zaleceń do normalizacji karabinu. W rezultacie powstał nabój bardzo podobny do 7,62×63 mm Springfield ze skróconą do $51 \cdot 10^{-3}$ m łuską. Zastosowanie tego naboju w karabinach maszynowych nie budzi wątpliwości. Podstawowymi zarzutami odnośnie do tego naboju są duże wartości parametrów charakteryzujących zjawisko odrzutu swobodnego broni, co zmniejsza jej celność, zwłaszcza przy prowadzeniu ognia seryjnego. Ranga normalizacji naboju w NATO jest tak wielka, że obecnie jest on w powszechnym użytkowaniu na całym świecie. Nabój ten w każdym kraju oznaczany jest inaczej, np. w USA M80 oraz M59, w RFN DM41A1, Belgii SS77. Większość nabojów ma łuski mosiężne, jednakże produkowane są też naboje z łuskami stalowymi. Naboje wytwarzane zgodnie z wymaganiami NATO mają na dnie łuski wybity symbol NATO (krzyż w kole), co oznacza ich całkowitą wymiennność. Nabój 7,62×51 mm (rysunek 36) również jest sprzedawany jako nabój sportowy pod nazwą .308 Winchester. Pomimo tego, że oba naboje wyglądają bardzo podobnie, nie są one identyczne. Pociski w obu tych nabojach różnią się budową, jak i zastosowanymi materiałami. Łuski nabojów 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 $38 \cdot 10^{-6}$ m niż długość maksymalna komory naboowej karabinu sportowego), ponieważ może wystąpić pęknięcie lub zakleszczenie łuski [73, 92]. Próba oddania strzału nabojem wojskowym z karabinu sportowego również może zakończyć się niepowodzeniem. Naboje kalibru 7,62×51 mm produkowane są w różnych odmianach, np.: M62 smugowy, M80 zwykły, M82 pozoracyjny, M993 AP przeciwpancerny (tabela 12).



Rys. 36. Budowa naboju 7,62x51 mm [83], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>

Tabela 12. Wybrane parametry nabojów kalibru 7,62x51 mm produkowanych w USA [22]

Rodzaj naboju	Masa naboju [$\cdot 10^{-3}$ kg]	Długość naboju [$\cdot 10^{-3}$ m]	Materiał miotający	Masa materiału miotającego [$\cdot 10^{-3}$ kg]	Masa pocisku [$\cdot 10^{-3}$ kg]	Ciśnienie maksymalne [MPa]	Prędkość wylotowa [m/s]
M59 zwykły	25,47	71,10	WC 846	2,98	9,75	351,5	838*
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*
M62 smugowy	24,82	71,10	WC 846	2,98	9,20	351,5	838*
M62 OFM smugowy	25,08	71,10	WC 846	2,98	9,46	351,5	8381
M63 treningowy	16,72	71,10	-	-	-	-	-
M64 miotający do granatnika	19,12	50,80	WC 830	2,92	-	-	49**
M80 zwykły	25,40	71,10	WC 846	2,98	9,46	351,5	838*
M82 pozoracyjny	15,23	66,55	SR 8231	0,97	-	-	-
M118 wyborowy	25,27	71,88	WC 846 lub IMR 895	2,85	11,15	351,5	805*
M160 fragmentujący	20,41	71,10	SR 8074	0,68	7,03	-	402***
M172 treningowy	24,95	71,10	-	-	-	-	-
M276 smugowy	24,69	71,10	WC 846	2,98	9,07-9,72	351,5	838* – GMCS lub 817 GM
M852 wyborowy	24,95	71,88	IMR 4895	2,72	10,89	351,5	777*
M993 AP przeciwpancerny	23,50	71,10	Bofors NC 1290	2,92	8,20	387,5	910*

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

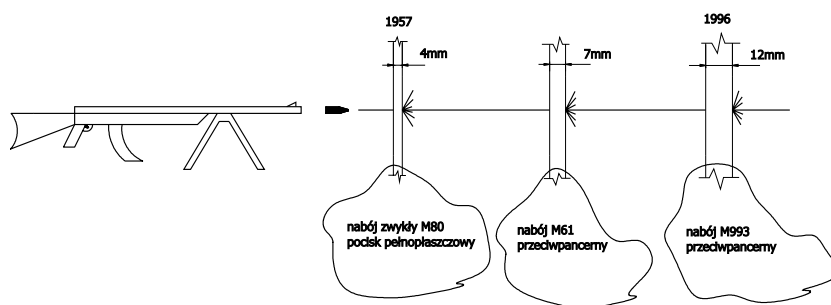
** prędkość wystrzelonego granatu w odległości 1,7 m od wylotu z lufy

*** prędkość w odległości 91 m od wylotu z lufy

Nabój M59 – zwykły, jest przeznaczony do użycia przeciwko ludziom i nieopancerzonym obiektom. Pocisk o długości $32,5 \cdot 10^{-3}$ m ma rdzeń wykonany z miękkiej stali.

Nabój M60 HPT nie jest nabojem bojowym – używany jest do badań elementów broni (wytrzymałości lufy, zespołów ryglowych), jest posrebrzany. Pocisk ma długość $31,2 \cdot 10^{-3}$ m.

Nabój M61 AP – przeciwpancerny jest używany przeciwko ludziom i lekko opancerzonym celom, blozkom betonowym. Pocisk o długości $32,5 \cdot 10^{-3}$ m przebija z odległości 300 m płytę o grubości $7 \cdot 10^{-3}$ m (rysunek 37), z odległości 500 m płytę o grubości $5 \cdot 10^{-3}$ m, a z odległości 1100 m płytę o grubości $3,43 \cdot 10^{-3}$ m. Pocisk można rozpoznać po czarnym wierzchołku.



Rys. 37. Przebijalność pancerzy przez pociski kalibru 7,62x51 mm, z odległości 300 m [76]

Nabój M62 smugowy jest przeznaczony do: obserwacji wystrzałów, sygnalizacji, efektów wzniesienia pożaru, szkoleń. W przypadku, gdy naboje te są wystrzeliwane z karabinu maszynowego, należy stosować zasadę (aby zmniejszyć zużycie lufy), 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 $34,3 \cdot 10^{-3}$ m ma charakterystyczny pomarańczowy wierzchołek.

Nabój M62 OFM (ang. *overhead fire application* – do strzelań ponad głowę) jest przeznaczony 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 $34,3 \cdot 10^{-3}$ m.

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 $34,3 \cdot 10^{-3}$ m.

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 jest przeznaczony do użycia przeciwko ludziom i przeszkodom z lekkich materiałów, jak również do szkoleń poligonowych. Jego długość całkowita wynosi $71,12 \cdot 10^{-3}$ m, a jego masa $25 \cdot 10^{-3}$ kg. Łuska naboju wykonana jest z mosiądzu. Pocisk tego naboju o masie $9,53 \cdot 10^{-3}$ kg wystrzelony z lufy o długości 0,559 m z bruzdami o skoku 0,305 m (z karabinu M14) ma prędkość wylotową 848 m/s. Pocisk jest pełnopłaszczowy z ołowianym rdzeniem i przebija płytę stalową o grubości $4 \cdot 10^{-3}$ m z odległości 300 m, a z odległości 500 m płytę stalową o grubości $3 \cdot 10^{-3}$ m. Cena naboju wynosi około 1,70 PLN (cena w USA z roku 2005).

Nabój M82 – pozoracyjny jest używany do szkoleń wtedy, gdy pożądanym jest widok ognia wydobywającego się z lufy karabinu. Cena naboju wynosi około 1,00 PLN (w USA).

Nabój M118 – wyborowy jest używany 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 0,305 m. Pocisk tego naboju jest pełnopłaszczowy, rdzeń jest ołowiany. Długość pocisku wynosi $33,3 \cdot 10^{-3}$ m. Na dnie łuski naboju wybity jest symbol NATO.

Nabój M160 – fragmentujący jest używany do karabinów maszynowych M219 i M240. Długość pocisku wynosi $30,2 \cdot 10^{-3}$ m. 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.

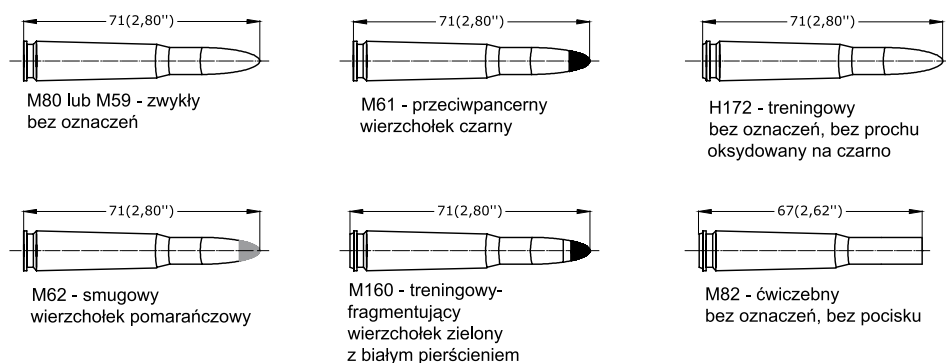
Nabój M172 – treningowy jest przeznaczony do badania mechanizmów i metalowych taśm podających, używanych w broni kalibru 7,62 mm. Pocisk w tym naboju jest oksydowany na czarno i ma długość $29 \cdot 10^{-3}$ m lub $30 \cdot 10^{-3}$ m zależnie od rodzaju płaszcza.

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 precyzyjnych strzelań. Jego łuska ma blisko podstawy moletowany rowek. Pocisk w części wierzchołkowej posiada wgłębienie.

Nabój M993 AP – przeciwpancerny jest używany w karabinach maszynowych M60, M240 i zestawie snajperskim M24. Przeznaczony 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 $7 \cdot 10^{-3}$ m, z odległości 500 m od wylotu z lufy. Odpowiada to zdolności przebicia płyty pancernej o grubości $6,35 \cdot 10^{-3}$ m z odległości 550 m. Pocisk naboju 7,62×51 mm M993 AP może przebić płytę pancerną o grubości 0,015 m z odległości 300 m lub płytę stalową o twardości 300HB o grubości 0,020 m ze 100 m. Przebija też płyty ochronne z plexiglasu o grubości 0,120 m używane w helikopterach. Cena naboju wynosi około 10,00 PLN. W większości przypadków przeszkody, których pociski kalibru 5,56×45 mm SS109 (z twardym metalowym rdzeniem) nie są w stanie pokonać, skutecznie chronią również przed pociskami kalibru 7,62×51 mm M80 (z miękkim rdzeniem ołowianym). Pociski kalibru 7,62 mm najskuteczniej przebijają przeszkody z odległości około 600 m. 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. Oznaczenia kolorystyczne, stosowane w USA, wybranych naboju 7,62×51 mm pokazane są na rysunku 38.



Rys. 38. Oznaczenia wybranych naboju kalibru 7,62x51 mm [22]

Amerykański nabój karabinowy 7,62×63 mm Springfield (.30-06 Springfield lub .30 US service) wprowadzony został do uzbrojenia armii USA w 1903 roku wraz z karabinem 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 np.:

- pocisk zwykły M2 z rdzeniem ołowianym o masie $9,85 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 837 m/s,
- pocisk przeciwpancerny APM2 z rdzeniem stalowym o masie $10,69 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 829 m/s,
- pocisk przeciwpancerno – zapalający M14 z rdzeniem stalowym o masie $9,72 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 849 m/s,

- pocisk zapalający M1 o masie $9,07 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 901 m/s,
- pocisk smugowy M25 o masie $9,46 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 814 m/s,
- pocisk fragmentujący M22 o masie $7 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 396 m/s wykonany z proszku ołowiu i bakelitu,
- pocisk angielski zwykły Mark 4z o masie $9,72 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 855 m/s,
- pocisk angielski zapalający B Mark 2z o masie $9,98 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 870 m/s,
- pocisk belgijski zwykły o masie $9,75 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 845 m/s,
- pocisk belgijski przeciwpancerny o masie $10,51 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 830 m/s,
- pocisk belgijski smugowy o masie $9,14 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości początkowej 830 m/s.

Nabój wyróżnia się dużą długością całkowitą – $84,8 \cdot 10^{-3}$ m. Długość pocisku wynosi $32,5 \cdot 10^{-3}$ m, długość łuski $63,2 \cdot 10^{-3}$ m, masa naboju $27,7 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku miotającego $3,62 \cdot 10^{-3}$ kg. Średnie ciśnienie maksymalne wynosi 301 MPa.



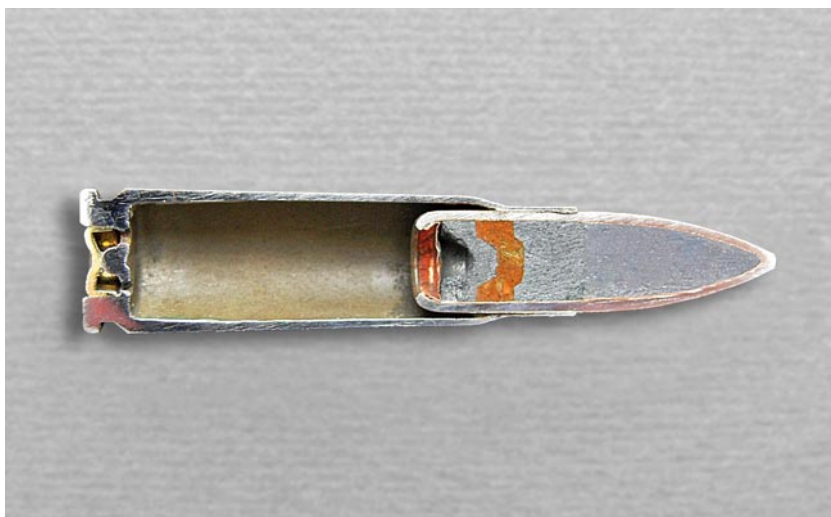
Rys. 39. Nabój 7,62x54R mm Mosin

Rosyjski nabój karabinowy 7,62×54R mm Mosin (rysunek 39) wprowadzony został do uzbrojenia armii carskiej w 1891 roku wraz z karabinem Mosin wz. 1891. Cechą wyróżniającą ten nabój jest wystająca kryza łuski. Wprawdzie to stary wzór naboju karabinowego, lecz jest stosowany jeszcze do dzisiaj w niektórych karabinach wyborowych oraz ręcznych i uniwersalnych karabinach maszynowych [25]. Długość naboju wynosi $76,7 \cdot 10^{-3}$ m, długość łuski $53,6 \cdot 10^{-3}$ m. Masa naboju wynosi od $23,2 \cdot 10^{-3}$ kg do $25,2 \cdot 10^{-3}$ kg. 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 $5 \cdot 10^{-3}$ m. Pocisk zwykły do tego naboju był wielokrotnie modernizowany. Początkowo część wierzchołkowa pocisku była zaokrąglona i jego masa wynosiła $13,92 \cdot 10^{-3}$ kg, a po licznych modyfikacjach powstał pocisk ostrołukowy. W Rosji, oprócz pocisku zwykłego (z rdzeniem stalowym o masie $9,65 \cdot 10^{-3}$ kg lub ołowianym o masie $11,98 \cdot 10^{-3}$ kg), produkowane są m. in. pociski: przeciwpancerno-zapalające (z rdzeniem stalowym o masie $10,04 \cdot 10^{-3}$ kg lub wolframowym o masie $12,11 \cdot 10^{-3}$ kg), smugowe o masie $9,65 \cdot 10^{-3}$ kg, przeciwpancerno-zapalająco-smugowe o masie $9,2 \cdot 10^{-3}$ kg, zapalająco-wskaźnikowe o masie $10,36 \cdot 10^{-3}$ kg.

5.2. Budowa wybranych nabojuw pośrednich

W roku 1941 niemiecka firma wyprodukowała nabój oznaczony 7,92×33 mm o masie od $16,5 \cdot 10^{-3}$ kg do $16,8 \cdot 10^{-3}$ kg (masa pocisku od $7,9 \cdot 10^{-3}$ kg do $8,2 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku prochowego od $1,57 \cdot 10^{-3}$ kg do $1,59 \cdot 10^{-3}$ kg), który powstał z naboju karabinowego poprzez zmniejszenie jego gabarytów. Nabój ten o długości $47,8 \cdot 10^{-3}$ m posiadał pocisk o długości $25,6 \cdot 10^{-3}$ m i prędkości początkowej około 700 m/s. Pocisk zwykły z rdzeniem stalowym przebijał płytę stalową o grubości $3,7 \cdot 10^{-3}$ m z odległości 100 m. Był to pierwszy nabój pośredni [4].



Rys. 40. Nabój 7,62×39 mm

W roku 1943 w Rosji (w ówczesnym Związku Radzieckim) zaprojektowano nabój pośredni o kalibrze 7,62 mm i karabin samopowtarzalny SKS oraz AK 47

Kałasznikowa. Nabój 7,62×39 mm wz. 43 (rysunek 40) powszechnie stosowano w państwach byłego Układu Warszawskiego, a ponadto został przyjęty do uzbrojenia w Chinach. Masa naboju wynosi $16,2 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku prochowego $1,6 \cdot 10^{-3}$ kg, długość naboju $55,8 \cdot 10^{-3}$ m, długość pocisku $26 \cdot 10^{-3}$ m, długość łuski $39 \cdot 10^{-3}$ m. Prędkość początkowa pocisku zwykłego wynosi 715 m/s (270-295 m/s dla pocisku poddźwiękowego) przy strzelaniu z karabinka AKM z lufą o długości $415 \cdot 10^{-3}$ m oraz 735 m/s przy strzelaniu z karabinu samopowtarzalnego Simonowa z lufą o długości $520 \cdot 10^{-3}$ m. Ciśnienie maksymalne gazów prochowych w komorze nabojoyej wynosi 275 MPa. Nabój rosyjski może mieć pocisk zwykły z rdzeniem stalowym o masie $7,91 \cdot 10^{-3}$ kg, pocisk przeciwpancerno-zapalający o masie $7,77 \cdot 10^{-3}$ kg, pocisk smugowy o masie $7,45 \cdot 10^{-3}$ kg, pocisk zapalająco-wskaźnikowy o masie $6,61 \cdot 10^{-3}$ kg. W nabojach fińskich występują pociski zwykłe z rdzeniem ołowianym o masie $8,04 \cdot 10^{-3}$ kg. Pocisk przeciwpancerno-zapalający przebija płytę metalową o grubości $7 \cdot 10^{-3}$ m z odległości 200 m w 90%, hełm stalowy z odległości 1000 m w 80-90%. Pocisk zwykły z rdzeniem stalowym przebija hełm z odległości 900 m w 80-90%, a pocisk przeciwpancerno-zapalający ma taki sam procent przebić hełmu, ale z odległości 1100 m [4]. W naboju poddźwiękowym o masie $20,5 \cdot 10^{-3}$ kg zaelaborowany jest ładunek prochowy o masie $0,75 \cdot 10^{-3}$ kg. Ciśnienie maksymalne gazów prochowych w komorze nabojoyej wynosi 160 MPa. Masa pocisku naboju poddźwiękowego wynosi $12,5 \cdot 10^{-3}$ kg a jego długość $33 \cdot 10^{-3}$ m.

Na początku lat 70. XX wieku opracowano w ówczesnym Związku Radzieckim nabój pośredni 5,45×39 mm przeznaczony do karabinów AK 74 i RPK 74 oraz ręcznego karabinu maszynowego RPKS-74. Masa naboju wynosi $10,6 \cdot 10^{-3}$ kg, masa pocisku zwykłego (rosyjskiego) $3,41 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku prochowego $1,49 \cdot 10^{-3}$ kg, długość naboju $56,7 \cdot 10^{-3}$ m, długość łuski $39,5 \cdot 10^{-3}$ m. Łuska jest stalowa lakierowana, z szyjką i kryzą zwykłą (rysunek 41). 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 $15 \cdot 10^{-3}$ m znajduje się ołowiana koszulka. W górnej części koszulka ma zgrubienie o wielkości $3 \cdot 10^{-3}$ m. 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 $195 \cdot 10^{-3}$ m, co powoduje, że wystrzelony pocisk podczas lotu znajduje się na granicy stabilności (obliczony skok bruzd zapewniający stabilność wynosi około $120 \cdot 10^{-3}$ m). Pocisk przy uderzeniu w organizm żywy ulega odkształceniu, wykonuje ruch obrotowy wokół osi poprzecznej – „koziołkuje” i porusza się wewnątrz niego po linii krzywej, powodując ranę postrzałową o dużych rozmiarach (patrz rysunek 46).



Rys. 41. Nabój 5,45x39 mm

W pierwszych latach wojny w Wietnamie wojskowi eksperci z USA stwierdzili, że stary karabin M1 oraz nowszy M14 (wykorzystujące nabój 7,62×51 mm) posiadają istotne wady taktyczne. Doprowadziło to w 1957 roku do uzbrojenia armii USA w karabin oznaczony M16 oraz nabój 5,56×45 mm M193 (wojskowa wersja naboju .222 Remington). W latach 60. XX wieku karabin ten był szeroko używany podczas wojny w Wietnamie, a w końcu tych lat wojska amerykańskie również w Europie zaczęły powszechnie stosować nabój 5,56×45 mm M193. Pocisk do tego naboju posiada dużą zdolność (uważana jest w Europie za nadmierną) rażenia celów żywych. Nabój 5,56×45 mm M193 (w Belgii odpowiada mu nabój oznaczony SS92) produkowany jest w około 20 krajach (np. Francji, Izraelu, RPA). W kilku krajach państw NATO wprowadzono do uzbrojenia karabiny M16 i w ten sposób produkcja amunicji pośredniej kalibru 5,56 mm zaczęła stopniowo powiększać się. Po przeprowadzeniu badań balistycznych w NATO w latach 1977-1980 ustalono, że nabój kalibru 5,56×45 mm będzie znormalizowanym nabojem państw Układu Północnoatlantyckiego, ale nabojem wiodącym będzie belgijski nabój 5,56×45 mm SS109, zamiast dotychczasowego amerykańskiego 5,56×45 mm M193. Belgijskie naboje 5,56×45 mm (SS109 z pociskiem zwykłym, P112 z pociskiem przeciwpancernym, L110 z pociskiem smugowym) zostały opracowane w połowie lat 70 jako alternatywa dla amerykańskiego naboju 5,56×45 mm M193. Pociski stosowane w tych nabojach są smuklejsze, dłuższe i cięższe od pocisku amerykańskiego M193, lecz powinny być wystrzeliwane z luf o krótszym skoku brzd, co zapewnia im stabilizację lotu i większą zdolność przebicia. Rdzenie pocisków belgijskich składają się z dwóch części: stalo-

wej i ołowianej. Stalowa część rdzenia znajdująca się pod wierzchołkiem pocisku działa jak penetrator pancerza.

Tabela 13. Wybrane naboje amerykańskie kalibru 5,56x45 mm [79]

Nabój	Masa naboju [·10 ⁻³ kg]	Długość naboju [·10 ⁻³ m]	Materiał miotający	Masa ładunku prochu- wego [·10 ⁻³ kg]	Masa pocisku [·10 ⁻³ kg]	Ciśnienie [MPa]	Prędkość [m/s] (4,6 m od wylotu z lufy)	Kolor wierz- chołka 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, IMR 8208, CMR 170	1,85 1,64 1,72	3,56	358,53	975	czer- wony
M199	9,72	57,40						
M200	6,93	48,30	HPC13					
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*	poma- rańczo- wy
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 (tabela 13), np.: M193, M196 (smugowy), M197, M199 (treningowy), M200 (pozoracyjny), M855 NATO, M856 NATO (smugowy), M862 SRTA, M995 AP (przeciwpancerny), M996 (smugowy), Frangible (Dodice AA40 – fragmentujący). Wymiary naboju amerykańskiego 5,56x45 mm wojskowego i ogólnego użytku (np.: policyjnych, cywilnych, sportowych, dla służb porządkowych – oznaczenie .223 Remington) są identyczne. 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 naboju i łuski dla naboju wojskowego są inne niż dla naboju .223 Remington. W szczególności w komorze naboju wojskowej ostatni stożek przejściowy jest dłuższy o $0,196 \cdot 10^{-3}$ m 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) [93, 95].

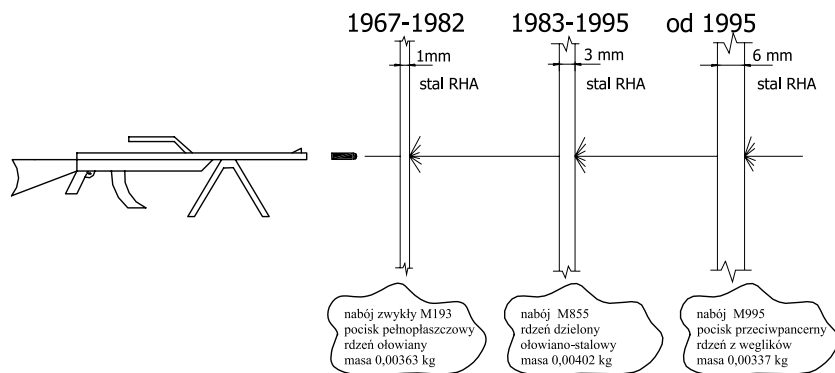
Nabój wojskowy amerykański 5,56×45 mm M193 z pociskiem o masie $3,56 \cdot 10^{-3}$ kg (55 grains $\cdot 0,0648 \cdot 10^{-3}$ kg/grain) i długości $19,3 \cdot 10^{-3}$ m, zgodnie z normą USA MIL-C-9963 F przeznaczony jest do użycia przeciwko celom żywym i obiektom nieopancerzonym z broni o lufie z bruzdami o skoku $305 \cdot 10^{-3}$ m (12 cali), np. karabin amerykański M16A1. Pocisk tego naboju jest pełnopłaszczowy. Masa naboju M193 wynosi $11,79 \cdot 10^{-3}$ kg, masa ładunku prochowego $1,62 \cdot 10^{-3}$ kg, długość naboju $57,4 \cdot 10^{-3}$ m, długość pocisku $19 \cdot 10^{-3}$ m, długość łuski $44,6 \cdot 10^{-3}$ m. Płaszcz pocisku wykonany jest z mosiądzu, a rdzeń jest lity i wykonany ze stopu ołowiu. Prędkość pocisku wystrzelonego z lufy o długości 0,51 m 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. Obecnie nabój ten jest w wojskach USA rzadziej stosowany, głównie przez jednostki pomocnicze. Najlepszym producentem tych nabojów jest zakład w Lake City w USA oraz firma Winchester (oznaczenie Q3131). Produkcję nabojów cywilnych M193 firma Winchester podzleciła izraelskim zakładom IMI (ang. *Israeli Military Industries*) i oznacza je Q3131A – naboje te są dodatkowo polerowane. 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, co pokazano na rysunku 42. Każdy z producentów stosuje nieco inne materiały i technologię. Różne partie nabojów nawet od tego samego producenta też mogą się różnić.



Rys. 42. Pocisk z naboju kalibru 5,56×45 mm M193 wyprodukowany w Lake City – USA – górny (w roku 2000), a w RPA – dolny (w roku 1986) [49], dzięki uprzejmości Ammo Oracle <http://www.ammo-oracle.com/body.htm>

Nabój wojskowy amerykański 5,56×45 mm M196 z pociskiem smugowym o masie $3,56 \cdot 10^{-3}$ kg przeznaczony jest do użycia na niedużych (do 450 m) odle-

głościach. Wierzchołek pocisku malowany jest na czerwono. Skład chemiczny masy smugowej powoduje przyspieszone zużycie lufy karabinu. Dlatego zalecane jest stosowanie tych naboju przemienne z nabojem 5,56×45 mm M193, co wynika również z taktyki strzelania, ponieważ pociski smugowe mają małą zdolność rażenia i gorszą celność. Naboje 5,56×45 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 5,56×45 mm M855 i M856, ale celność ulegnie zmniejszeniu. Nabój 5,56×45 mm M199 jest nabojem treningowym, bez ładunku prochowego i masy zapalającej. Łuska naboju posiada sześć podłużnych wgniecień. Można go używać do wszystkich karabinów kalibru 5,56 mm. Nabój 5,56×45 mm M200 jest pozoracyjny, bez pocisku. Szyjka łuski jest zagnieciona do środka i pomalowana na fioletowo. Można go używać do wszystkich karabinów kalibru 5,56 mm. Nabój wojskowy amerykański 5,56×45 mm M855 z pociskiem o masie $4 \cdot 10^{-3}$ kg (61,7 grains $\cdot 0,0648 \cdot 10^{-3}$ kg/grain) przeznaczony jest do użycia przeciwko celom żywym, obiektom nieopancerzonym lub lekko opancerzonym (zgodnie z normą USA MIL-C-63989). Wierzchołek pocisku malowany jest na zielono. Nabój ten wystrzeliwany może być z broni o lufie z bruzdami o skoku $229 \cdot 10^{-3}$ m. Nabój M855 wzorowany jest na naboju belgijskim SS109 – pocisk posiada mosiężny płaszcz, rdzeń dzielony: ołowiany, a w części wierzchołkowej stalowy utwardzony penetrator o masie $648 \cdot 10^{-6}$ kg i średnicy $4,62 \cdot 10^{-3}$ m 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 0,51 m 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 $178 \cdot 10^{-3}$ m). Pocisk ten powinien przebić stalową płytę wzorcową 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 naboju M855, zdaniem taktyków wojskowych, są niezadowalające nieraz parametry balistyki końcowej (choć i tak lepsze niż naboju M193 – rysunek 43), szczególnie w przypadku strzelania z karabinów z krótkimi lufami (o długości od 0,26 m do 0,37 m). Naboje M855 bardzo dobrej jakości produkuje firma IMI z Izraela.



Rys. 43. Rozwój zdolności przebijania pancerzy przez pociski kalibru 5,56x45 mm [76]

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 $6,5 \cdot 10^{-3}$ kg), aby poprawić ich balistykę końcową. Naboje 5,56x45 mm MK262 Mod 1 z pociskami o masie $5 \cdot 10^{-3}$ kg, 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 0,13 m) 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 $3,95 \cdot 10^{-3}$ kg ma duży zasięg (do 800 m). Wierzchołek pocisku malowany jest na pomarańczowo. Wystrzeliwany może być z broni o lufie z bruzdami o skoku $178 \cdot 10^{-3}$ m lub ewentualnie $203 \cdot 10^{-3}$ m, aby lot pocisku był stabilny. Płaszcz pocisku wykonywany jest ze stali pokrytej mosiądzem. Nabój 5,56x45 mm M862 SRTA z pociskiem o długości $23 \cdot 10^{-3}$ m 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 (rysunek 44). 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 przebija płytę przeciwpancerną o grubości 0,012 m i twardości 300 HB z odległości 100 m.



Rys. 44. Nabój kalibru 5,56x45 mm M955 AP [49], dzięki uprzejmości Ammo Oracle <http://www.ammo-oracle.com/body.htm>

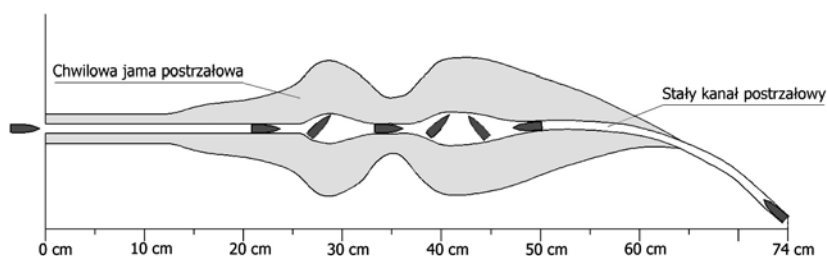
Duża prędkość wylotowa pocisków (nawet ponad 1000 m/s) powoduje zwiększone zużycie przewodu lufy. W przypadku amunicji wojskowej dającej również wyższe ciśnienia niż amunicja cywilna zużycie to jest jeszcze większe. Zużycie to można zmniejszyć pokrywając płaszcz pocisku (stalowy) warstwą niklu. W takim przypadku jednak lufa powinna być chromowana. Pocisk też można pokryć dwusiarczkiem molibdenu, aby zmniejszyć zużycie lufy. Wadą dwusiarczku molibdenu jest jego higroskopijność (zdolność do absorbowania wody), co może spowodować przejście zaabsorbowanych cząstek wody do przewodu lufy i zwiększyć jej zużycie. Wielu producentów, szczególnie w państwach byłego Układu Warszawskiego, płaszcze pocisków wykonuje ze stali głębokotłocznej pokrytej odpowiednimi powłokami antykorozyjnymi. Najczęściej stosowane są powłoki: galwaniczne (z miedzi lub cynku), lakiernicze lub polimerowe. Powłoki lakiernicze były również powszechnie stosowane (tanie, z szarego lub zielonego lakieru odpornego na temperaturę). Pewną wadą takiego zabezpieczenia antykorozyjnego jest nierównomierność grubości powłoki lakierniczej, co może utrudniać wyciąganie (ekstrakcję) łuski z komory nabojeowej. Powłoki galwaniczne mają dobre właściwości, lecz nie są tanie. Na początku roku 2004 wprowadzono powłoki polimerowe, dające gładszą powierzchnię niż lakierowane i tańsze niż cynkowane. Zastosowanie stalowych płaszczy zwiększa trochę zużycie niektórych elementów broni. Pewną wadą stalowych płaszczy jest możliwość powstawania iskier elektrycznych, gdy pocisk uderza w twardą przeszkodę, a zwłaszcza stalową, oraz możliwość wystąpienia odbić pocisków tzw. rykoszetów.

Na dnie łuski w niektórych nabojach wojskowych występuje symbol NATO (krzyż w kole). Znaczy to, że nabój ten wyprodukowany został zgodnie z wymaganiami NATO oraz jego parametry techniczne też zgodne są z tymi wymaganiami. Należy zaznaczyć, że wymagania NATO nie zawsze odpowiadają wymaganiom wojsk USA. W wymaganiach 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. 5,56×45 mm SS109/M855, parametry balistyki końcowej pocisków, tj. fragmentacja, głębokość penetracji, zmiana trajektorii lotu również są zmienne.

5.3. Balistyka końcowa pocisków pośrednich i karabinowych w ośrodkach zastępczych

Analizując oddziaływanie pocisków karabinowych na tkanki żywego organizmu, będziemy porównywali schemat rany w ośrodku zastępczym z uproszczonym opisem rany w brzuchu i udzie [15].

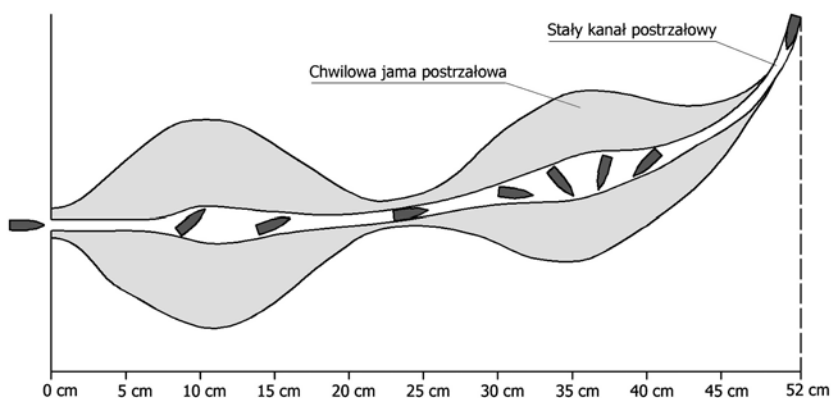
Pocisk zwykły do naboju rosyjskiego kalibru 7,62×39 mm ma płaszcz ze stali platerowanej mosiądzem, duży stalowy rdzeń oraz tzw. koszulkę z ołowiu pomiędzy nimi. Po wnikięciu do organizmu pocisk ten normalnie przemieszcza się po torze prostoliniowym około 0,26 m w pozycji „wierzchołek do przodu”, zanim rozpocznie znacząco zbaczać i odchyłać się od poprzedniego toru (rysunek 45). 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. 45. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej dla pocisku zwykłego do naboju rosyjskiego 7,62×39 mm [14]

Pocisk do naboju jugosłowiańskiego kalibru 7,62×39 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 0,09 m, 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 0,17 m 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 powierzchnię 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.



Rys. 46. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju 5,45×39 mm [14]

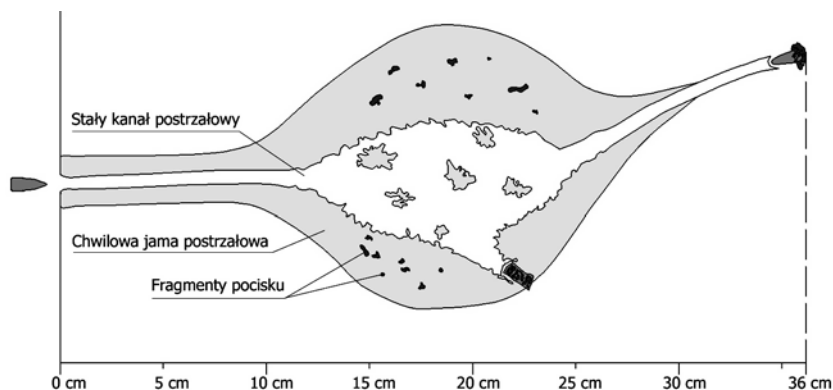
Nabój rosyjski kalibru 5,45×39 mm, pełnopłaszczowy ze stali platerowanej mosiądzem, posiada duży stalowy rdzeń, podobnie jak jego poprzednik 7,62×39 mm.

Specyficzną cechą konstrukcyjną tego pocisku jest pustka powietrzna w części wierzchołkowej, pomiędzy rdzeniem a płaszczem, o długości 0,005 m. 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 przesuwają się do przodu w tą 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 (rysunek 46).

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 5,45×39 mm przestaje być stabilny już po przebyciu drogi około 0,07 m 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 5,45×39 mm powinny być zasadniczo takie same, jak opisane przy pocisku jugosłowiańskim kalibru 7,62×39 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 „koziółkować”.

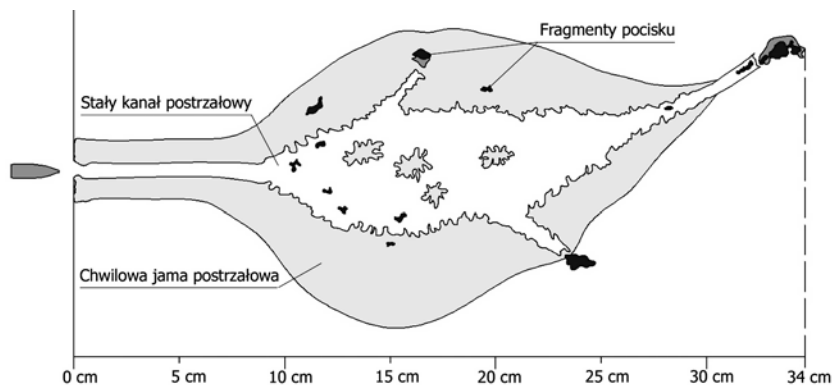
Pocisk do naboju 5,56×45 mm M193 (pełnopłaszczowy) wytwarza kanał postrzałowy o bardzo dużych rozmiarach, czego główną przyczyną jest jego fragmentacja. Jak pokazano na schemacie rany postrzałowej (rysunek 47), pocisk ten przemieszcza się w tkance w pozycji „wierzchołek do przodu” przez około 0,12 m, 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 prostopadle do trajektorii pocisku aż do głębokości 0,07 m (rysunek 47). W wyniku penetrowania tkanek przez odłamki zmniejsza się znacznie ich wytrzymałość na rozciąganie i powiększają się odkształcenia trwałe 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 0,07 m, a nie o wielkości odpowiadającej kalibrowi pocisku. Rana wejściowa w udzie będzie mała i porozrywana. 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.



Rys. 47. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju 5,56x45 mm M193 [14]

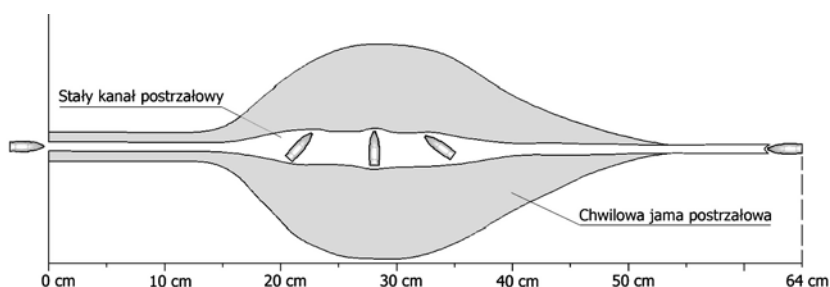
Stopień fragmentacji pocisku zmniejsza się ze wzrostem odległości od wylotu z lufy (zmniejsza się prędkość uderzenia). Pocisk pęka w miejscu rowka służącego do jego osadzenia w łusce tworząc dwa duże odłamki, gdy odległość strzału wynosi nieco ponad 100 m. Zwiększanie tej odległości w przedziale od 200 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 (rysunek 48) jest bardzo podobna do rany od pocisku naboju M193. Dłuższy pocisk naboju M855/SS109, aby być stabilnym w powietrzu, wymaga większej prędkości obrotowej. Konstruktorzy pocisku do naboju SS109 tłumaczą, 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.



Rys. 48. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju 5,56x45 mm M855/SS109 [14]

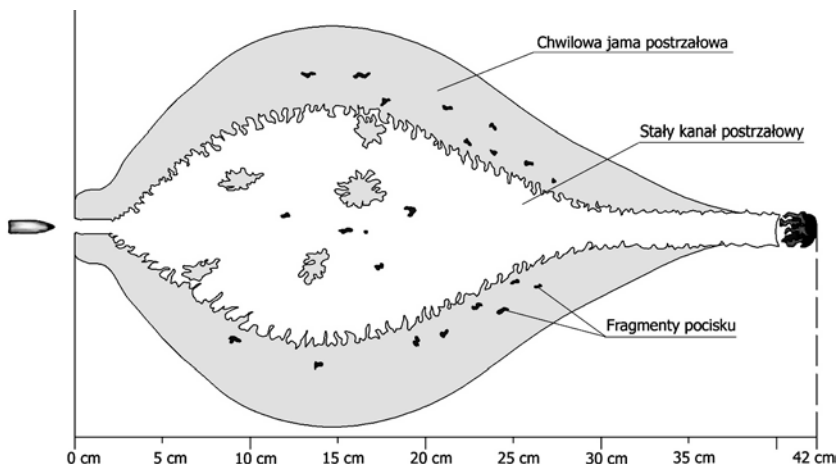
Pocisk do naboju 7,62x51mm NATO pełnopłaszczowy (M80 w USA) pozostawia ranę postrzałową posiadającą elementy charakterystyczne, obserwowane we wszystkich pociskach wojskowych nieulegających fragmentacji. Pocisk po wnikięciu w tkankę odchyła się najpierw o $\pi/4$, a następnie po zajęciu stabilnej pozycji częścią denną do przodu, kontynuuje resztę drogi z małym zboczeniem lub bez zboczenia (rysunek 49). W nieskomplikowanej ranie uda tkanki mogą zostać minimalnie zniszczone, gdyż dzięki opływowemu kształtowi przez pierwsze 0,16 m drogi pocisk przemieszcza się tak, że wierzchołek jest z przodu. W przypadku rany w brzuch długa droga 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 0,0006 m, a w amerykańskim w tym samym miejscu 0,0008 m. Te nieznaczne zmiany konstrukcyjne powodują rozległe różnice w zachowaniu się pocisków w tkankach. Pocisk niemiecki po przebyciu w organizmie drogi około 0,08 m 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 (rysunek 47), z rozmiarami zniszczeń tkanki większymi o 60% (średnica chwilowej jamy postrzałowej około 0,22 m, średnica kana-

łu postrzałowego około 0,11 m, głębokość penetracji części głowicowej pocisku około 0,58 m).



Rys. 49. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku amerykańskiego do naboju 7,62x51mm NATO M80 [14]

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, będzie to nieskomplikowana do wyleczenia rana. Strzał w brzuch, z powodu powiększonego przez fragmentację kanału postrzałowego kończy się tragicznie. Na rysunku 50 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, lecz jego głębokość penetracji jest mniejsza.



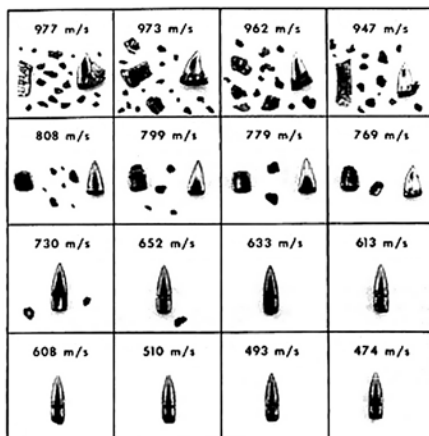
Rys. 50. Schemat rany postrzałowej w żelatynie balistycznej od pocisku do naboju .308 Winchester JSP (7,62x51 mm) [14]

Pocisk przemieszczający się wzdłuż bruzdowanej lufy wprawiany jest w ruch obrotowy w celu zachowania stabilnego położenia na torze balistycznym. Zjawi-

sko to opisane jest szerzej w rozdziale 3.4. W tym punkcie skupimy naszą uwagę na problemach związanych ze stabilizacją pocisków o kalibrze 5,56×45 mm. Wartość współczynnika stabilizacji żyroskopowej S_g , będącego miarą stabilności, dla pocisku o kalibrze 5,56×45 mm powinna zawierać się w przedziale od 1,3 do 2,0 [43]. Zakładając gęstość powietrza na poziomie morza 1,225 kg/m³, można wyznaczyć, że dla uzyskania dobrej stabilności pocisk wymaga, aby jego prędkość obrotowa wynosiła 24 700 rad/s ($S_g > 1,3$). Przy prędkości wylotowej 975 m/s pocisk naboju M193 uzyskuje prędkość obrotową 26 790 rad/s (przy bruzdach o skoku 229·10⁻³ m – 9 cali) lub 34 540 rad/s (bruzdy o skoku 178·10⁻³ m – 7 cali), a wartości współczynnika S_g są w przedziale od 1,9 do 2,0. Bruzdy o skoku 305·10⁻³ m – 12 cali wprowadzają pocisk w ruch obrotowy z prędkością 20 100 rad/s, a bruzdy o skoku 356·10⁻³ m nadają prędkość kątową 17 270 rad/s.

Pierwsze pociski do naboju 5,56×45 mm M193 wystrzeliwane były z luf z bruzdami o skoku 356·10⁻³ m i były mało stabilne nawet w temperaturach dodatnich, a w temperaturze poniżej zera (wzrasta gęstość powietrza) traciły stabilność na torze balistycznym. Zmniejszenie skoku bruzd do 305·10⁻³ m spowodowało stabilizację ich lotu (pocisk naboju M855 jest niestabilny przy takim skoku bruzd). Dla pocisku kalibru 5,56·10⁻³ m do naboju M855 wartość współczynnika stabilizacji żyroskopowej 1,3 uzyskiwana jest przy bruzdach o skoku 229·10⁻³ m. Dla porównania bruzdy o skoku 254·10⁻³ m – 10 cali pozwalają uzyskać dla tego pocisku wartość współczynnika S_g około 1,2, co nie zapewnia poprawnej stabilizacji, a zwłaszcza w niższych temperaturach powietrza. W rzeczywistości dla uzyskania stabilizacji pocisku naboju M855 wystrzelonego z lufy z bruzdami o skoku 203·10⁻³ m – 8 cali, wartość współczynnika stabilizacji żyroskopowej powinna zawierać się w przedziale od 1,5 do 2,0. Natomiast pocisk naboju 5,56×45 mm M856 jest stabilny dopiero przy bruzdach o skoku 178·10⁻³ m. Pewnym niebezpieczeństwem zmniejszania skoku bruzd i zwiększania prędkości wylotowej pocisku jest możliwość uzyskania tak dużej prędkości obrotowej pocisku, że ulegnie on fragmentacji po opuszczeniu lufy. Istnieje też możliwość, że przy zbyt dużej prędkości obrotowej oś symetrii figury utworzonej przez obracający się pocisk będzie w kolejnych położeniach zawsze równoległa do siebie. Spowoduje to niezamierzony efekt: pocisk będzie uderzał w cel powierzchnią boczną a nie wierzchołkiem. Podsumowując rozważania o wpływie skoku bruzd na balistykę zewnętrzną pocisku, możemy przyjąć, że dla lżejszych pocisków o masie od 2,20·10⁻³ kg do 3,25·10⁻³ kg najlepsze będą bruzdy o skoku 305·10⁻³ m a nawet 356·10⁻³ m. Dla pocisków ciężkich i długich o masie od 5·10⁻³ kg do 6·10⁻³ kg, o przewidywanej donośności od 500 m do 1000 m, prawidłowy skok bruzd wynosi od 203·10⁻³ m do 165·10⁻³ m (optymalny 178·10⁻³ m). W przypadku strzelania pociskami o masie od 3,20·10⁻³ kg do 4,5·10⁻³ kg dobre parametry balistyczne dają bruzdy o skoku 229·10⁻³ m.

Zarówno pocisk do naboju 5,56×45 mm M193, jak i M855 może 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 – rysunek 51).



Rys. 51. Fragmentacja pocisku do naboju 5,56x45 mm M193 po zderzeniu z różną prędkością, z blokiem żelatyny balistycznej [49], dzięki uprzejmości Ammo Oracle <http://www.ammo-oracle.com/body.htm>

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 celniej 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 0,12 m i średnicy, która może być równa długości pocisku (gdy pocisk obraca się wokół osi poprzecznej – „koziołkuje”). Pocisk naboju 5,56×45 mm M193 wystrzelony z lufy o długości 0,51 m ulega fragmentacji uderzając w cel z odległości nie większej niż 200 m, a pocisk M855 z odległości 150 m. Strzelając z lufy o długości 0,368 m, 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 prędkoś-

ciach 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 0,076 m od zewnętrznej powierzchni jego pole przekroju poprzecznego powiększa się. Duża ilość odłamków znajduje się w odległości pomiędzy 0,102 m a 0,178 m. Przeciętnie w odległości pomiędzy 0,330 m a 0,368 m kończy się penetracja części wierzchołkowej pocisku. Optymalny kształt rany postrzałowej otrzymujemy, gdy pocisk penetruje na głębokość do 0,3 m, a największe uszkodzenie tkanek organizmu występuje na głębokości od 0,1 m do 0,3 m. Można przyjąć jako zasadę, że trwałe uszkodzenie głównych organów żywej istoty i jej naczyń krwionośnych następuje przy penetracji pocisku na głębokość około 0,15 m. W przypadku, gdy pocisk wydobędzie się z trafiającego celu zostawiając otwartą ranę wejściową i wyjściową, krwawienie z rany jest większe, niż gdy zostaje on wewnątrz ciała.

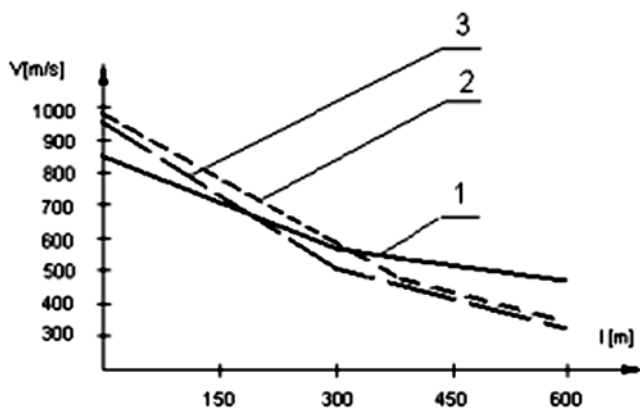
Przyczyna dużej wielkości rany postrzałowej spowodowanej pociskiem naboju M193 nie jest wyjaśniona całkowicie. Początkowo przypuszczano, że duży skok ($356 \cdot 10^{-3}$ m) bruzd w lufie karabinu M16 powoduje, że pocisk po uderzeniu w organizm staje się niestabilny, obraca się wokół osi poprzecznej i zbacza z pierwotnego toru lotu. Dokładniejsza analiza budowy pocisków o kalibrze 5,56×45 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 naboju 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 naboju typu .223 Remington czy 5,56×45 mm będą ulegały fragmentacji lub będą rozcalały się przy tej samej prędkości uderzenia. Istnieją przykłady pocisków kalibru 5,56×45 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 $4,15 \cdot 10^{-3}$ kg 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. Nawet ci żołnierze, którzy zostali trafieni w pierś i pocisk przeszedł przez płuca, po paru tygodniach mogli wrócić do swoich jednostek. Nowe naboje wojskowe mają ostrołukowy kształt, co zmniejsza siłę oporu aerodynamicznego. Nowoczesny pocisk kalibru $7,62 \cdot 10^{-3}$ m (z rdzeniem ołowianym) traci na dystansie 467 m 33% prędkości początkowej a pocisk o tym samym kalibrze z zaokrąglonym wierzchołkiem traci 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. Z opisanych pocisków najbardziej niszczącym żywy organizm jest pocisk do naboju $7,62 \times 51$ mm NATO niemiecki (pocisk $7,62 \times 51$ mm szwedzki zachowuje się podobnie jak niemiecki). Zdolność do fragmentacji powiększa maksymalnie i tak wysoki jego potencjał do zniszczenia ośrodka.



Rys. 52. Zależność prędkości pocisków w funkcji odległości od wylotu z lufy (przy skoku bruzd w lufie – $178 \cdot 10^{-3}$ m). 1) nabój karabinowy $7,62 \times 51$ mm SS 77, 2) nabój pośredni $5,56 \times 45$ mm M 193, 3) nabój pośredni $5,56 \times 45$ mm SS 109 [4]

Pociski do nabojów pośrednich 5,56×45 mm mają prędkość początkową większą o około 15% od prędkości pocisków do nabojów karabinowych 7,62×51 mm (rysunek 52). W odległości około 300 m od wylotu z lufy prędkości tych pocisków są zbliżone. W dalszych odległościach od lufy prędkość pocisku o kalibrze 5,56×45 mm jest jednak mniejsza w porównaniu do prędkości pocisku o kalibrze 7,62×51 mm. Masa pocisków do nabojów pośrednich jest mniejsza o około 60% w porównaniu do masy pocisków do 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 $5,56 \cdot 10^{-3}$ m oraz $7,62 \cdot 10^{-3}$ m wystrzeliwanych z różnych wzorów broni przedstawia tabela 14.

Tabela 14. Porównanie niektórych parametrów nabojów 5,45x39 mm, 5,56x45 mm, 7,62x51 mm

Oznaczenie naboju	Oznaczenie broni	Długość lufy [·10 ⁻³ m]	Skok bruzd [·10 ⁻³ m]	Prędkość początkowa [m/s]	Energia początkowa [J]
5,45x39 mm zwykły	AK 74	437	195	900	1380
5,56x45 mm M 193	M 16	508	305	991	1780
5,56x45 mm M193	FNC	449	305	965	1690
5,56x45 mm SS 109	F2000	400	178	900	1630
5,56x45 mm SS 109	FNC	449	178	915	1680
7,62x51 mm NATO M80	M 14	559	305	853	3440
7,62x51 mm NATO SS77	FN FAL	533	305	840	3280
7,62x39 mm wz.43 PS	AKM	415	240	715	2020

Najbardziej istotną praktyczną właściwością pocisku poza celnością jest zdolność do obezwładniania oraz przebijania przeszkód (opancerzonych i budowlanych). Możemy porównać zdolności przebijania przeszkód przez pociski kalibru 5,56×45 mm i pociski o kalibrze 7,62×51 mm. Porównanie to nie ma na celu wykazania, który nabój jest lepszy, lecz jedynie ma pokazać zależności pomiędzy przebijalnością a budową pocisku i zastosowanymi materiałami. Analizując dane dotyczące przebijania określonych wzorcowych przeszkód przedstawione w tabeli 15, należy pamiętać, że w pocisku SS 109/M855 znajduje się stalowy rdzeń, a w pocisku 7,62×51 mm SS77/M80 relatywnie miękki rdzeń ołowiany przeznaczony do rażenia celów żywych.

Tabela 15. Porównanie największych odległości, z których są przebijane wybrane przeszkody, dla niektórych naboju [4]

Nabój	5,56x45 mm SS92	5,56x45 mm SS109	5,56x45 mm SS109	5,56x45 mm XM777*	7,62x51 mm NATO SS77
Skok bruzd w lufie [m]	$305 \cdot 10^{-3}$	$305 \cdot 10^{-3}$	$178 \cdot 10^{-3}$	$305 \cdot 10^{-3}$	$305 \cdot 10^{-3}$
Płyta wzorcowa stalowa NATO	400 m	416 m	640 m	410 m	620 m
Hełm stalowy niemiecki	485 m	–	1150 m	600 m	640 m
Hełm stalowy USA	515 m	825 m	1300 m	820 m	800 m

* nabój amerykański stosowany w roku 1976 o konstrukcji zbliżonej do belgijskiego SS109 (amerykański pocisk był krótszy i lżejszy) zastąpiony został przez M855

Z analizy danych przedstawionych w tabeli 15 wynika, że skok bruzd w lufie, a więc prędkość obrotowa pocisku, pośrednio też stabilizacja pocisku mają bardzo duży wpływ na przebijalność. Pocisk naboju 5,56x45 mm SS109 wystrzelony z lufy z bruzdami o skoku $178 \cdot 10^{-3}$ m ma większą zdolność przebijania pancerza niż pocisk naboju 7,62x51 mm NATO SS77/M80. Natomiast ten sam pocisk wystrzelony z lufy z bruzdami o skoku $305 \cdot 10^{-3}$ m ma porównywalną przebijalność, jak pocisk naboju 5,56x45 mm XM777. Można wyciągnąć następujące wnioski odnośnie do wpływu niektórych cech konstrukcyjnych lufy karabinu i pocisku na przebijalność:

- 1) Duży wpływ na zdolność pocisku do przebijania przeszkód ma skok bruzd w lufie, decydujący o jego prędkości obrotowej początkowej i mający wpływ na stabilizację lotu. Powyższy wniosek potwierdzają przedstawione w tabeli 15 wyniki przebijania przeszkód przez pocisk SS 109 wystrzelony z lufy z bruzdami o skoku $178 \cdot 10^{-3}$ m oraz $305 \cdot 10^{-3}$ m. Większą zdolność przebijania zapewnia lufa o mniejszym skoku bruzd równym $178 \cdot 10^{-3}$ m.
- 2) Dla zdolności pocisku do przebijania przeszkód istotne znaczenie mają jego parametry balistyczne i budowa rdzenia. Masa pocisku nie decyduje bezpośrednio o zdolności do przebijania. Spośród badanych pocisków pocisk naboju SS 109 miał masę $4,02 \cdot 10^{-3}$ kg 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 naboju SS 77 kaliber 7,62x51 mm przebija np. stalowy hełm wojskowy USA z odległości 800 m przy energii kinetycznej około 580 J, podczas gdy pocisk naboju SS 109 kaliber 5,56x45 mm przebija ten hełm nawet z odległości około 1200-1300 m przy energii wynoszącej tylko 165 J. Z kolei pocisk naboju SS 92 kaliber 5,56x45 mm przebija stalowy hełm wojskowy USA z odległości tylko 515 m przy energii około 380 J. Pocisk naboju SS109 jest w stanie przebić stalowy hełm amerykański z dwóch

stron, z odległości 600 m, a pocisk naboju SS77 nie jest w stanie tego dokonać. Główne zalety naboju 5,56×45 mm NATO są następujące:

- przy normalnie spotykanych odległościach prowadzenia działań bojowych (a zwłaszcza w terenach zabudowanych) zdolności obezwładniające pocisków naboju 5,56×45 mm są co najmniej porównywalne do pocisków naboju 7,62×51 mm NATO SS77,
- zdolność pocisku w naboju SS-109 do penetracji jest większa niż pocisku w naboju 7,62×51 mm NATO SS77/M80 szczególnie przy odległościach do 300 m,
- mniejsza energia odrzutu naboju 5,56×45 mm pozwala na celne strzelanie, szczególnie przy ogniu seryjnym,
- mniejsza masa naboju 5,56×45 mm (47% masy naboju 7,62×51 mm) pozwala żołnierzom zabrać więcej amunicji i innego wyposażenia.

Pocisk do naboju 7,62×51 mm NATO bez trudu pokonuje pocisk naboju SS 109/M855 we wszystkich testach penetracyjnych. W szczególności pocisk naboju SS 109 nie przebija nawet jednego bloczka budowlanego, a pocisk naboju 7,62×51 mm SS77/M80 przebija dwa takie bloczki.

6. Amunicja o zmniejszonym zasięgu działania

6.1. Budowa wybranych nabojów

Zastosowanie amunicji bojowej do szkolenia osób używających broni strzeleckiej jest rozwiązaniem bardzo dobrym, ale również niepozbawionym istotnych wad. Jest to rozwiązanie drogie, nie ekologiczne i stwarzające duże zagrożenie dla osób postronnych. Amunicja strzelecka stosowana w wojsku, policji, na strzelnicach sportowych zanieczyszcza środowisko naturalne (ziemię, wodę, powietrze, ludzi i zwierzęta) ołowiem i jego toksycznymi związkami. Z tego względu opracowano nowe rodzaje amunicji, tańsze i charakteryzujące się ograniczonymi strefami rażenia. Porównanie wybranych rodzajów amunicji ćwiczebnej z bojową przedstawiono w tabeli 16.

Tabela 16. Niektóre parametry wybranych rodzajów amunicji ćwiczebnej [19]

Rodzaj naboju	Parametry naboju	9x19 mm Parabellum	5,56x45 mm	7,62x51 mm	12,7x99 mm
Z pociskiem plastikowym	masa pocisku	$0,4 \cdot 10^{-3}$ kg	$0,2 \cdot 10^{-3}$ kg	$0,7 \cdot 10^{-3}$ kg	$3,2 \cdot 10^{-3}$ kg
	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	$6,4 \cdot 10^{-3}$ kg	$1,8 \cdot 10^{-3}$ kg	$5,6 \cdot 10^{-3}$ kg	$38 \cdot 10^{-3}$ kg
	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	$6,2 \cdot 10^{-3}$ kg	$2,9 \cdot 10^{-3}$ kg	$7,7 \cdot 10^{-3}$ kg	$45,6 \cdot 10^{-3}$ kg
	prędkość wylotowa	442 m/s	670 m/s	790 m/s	900 m/s
Bojowy NATO	masa pocisku	$8 \cdot 10^{-3}$ kg	$4 \cdot 10^{-3}$ kg	$9,7 \cdot 10^{-3}$ kg	$42,9 \cdot 10^{-3}$ kg
	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. Występuje również amunicja smugowa z plastikowym pociskiem, wtedy w gniazdo pocisku wciska się metalowy pojemnik z zaprasowaną masą pirotechniczną. Mały ładunek prochowy i mała masa pocisku powodują konieczność stosowania dodatkowych urządzeń wspomagających prawidłowe działanie automatyki broni (rysunek 53). Takie rozwiązanie konstrukcyjne zostało wprawdzie zaakceptowane, lecz jest kłopotliwe. Dlatego też trwają prace badawcze mające na celu skonstruowanie takich pocisków szkoleniowych, które można bezpiecznie stosować, bez konieczności używania tzw. adapterów[33].



Rys. 53. Nabój 5,56x45 mm M862 SRTA i zestaw urządzeń tzw. adaptujących, pozwalających na strzelanie z karabinu M249 SAW, składający się ze: sprężyny, regulatora ciśnienia, wkładki do zamka, suwadła, taśmy z nabojami [1]], dzięki uprzejmości S. J. Aponte Crew Served Weapon Systems AM SRD-AAR-AEW-M

Początkowa część toru balistycznego pocisku plastikowego – około 25 m (10% donośności maksymalnej, tj. 250 m) powinna być identyczna jak pocisku bojowego. 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 $0,25 \cdot 10^{-3}$ kg po uderzeniu w przeszkodę z prędkością 200 m/s średnica części wierzchołkowej zwiększa się do $9 \cdot 10^{-3}$ m, a energia kinetyczna jednostkowa wynosi $8 \cdot 10^4$ J/m². W pocisku SIMUNITION® 9 mm FX o masie $0,45 \cdot 10^{-3}$ kg po uderzeniu w przeszkodę

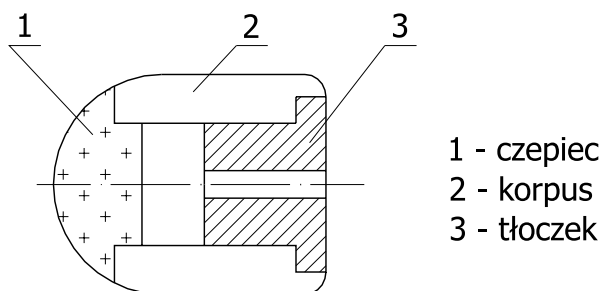
z prędkością 145 m/s średnica części wierzchołkowej zwiększa do $11 \cdot 10^{-3}$ m, a energia kinetyczna jednostkowa wynosi $5 \cdot 10^4$ J/m². Tak mała energia kinetyczna jednostkowa uderzenia powoduje, że pociski te nie penetrują bloku 20% żelatyny balistycznej [33].

Donośność pocisków w nabojach o zmniejszonym zasięgu jest parę razy mniejsza niż dla pocisków bojowych – standardowych, lecz ich masy i prędkości wylotowe są zbliżone. Naboje tego typu ze skróconymi, płasko ściętymi pociskami – były stosowane już przed II wojną światową. Zmniejszenie donośności pocisków uzyskać można w różny sposób. Jeden ze starszych sposobów polega na takim dobraniu masy i kształtu pocisku, aby siły oporu aerodynamicznego były znacznie większe niż w przypadku pocisku bojowego [20]. Przykładem takiego rozwiązania jest nabój pośredni 7,62×39 mm M76 produkowany w byłej Jugosławii. Półpłaszczowy pocisk ma aluminiowy rdzeń. Zmniejszona masa w stosunku do pocisku zwykłego oraz duża siła oporu aerodynamicznego powodują, że mimo dużej prędkości wylotowej następuje szybki jej spadek na torze balistycznym [19]. W grupie pocisków o ograniczonym zasięgu działania ciekawe rozwiązanie zaproponowali konstruktorzy niemieccy (rysunek 54). Pocisk wykonany ze stopów miedzi ma w części środkowej duży otwór wypełniony tworzywem sztucznym. 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. 54. Nabój policyjny o ograniczonej donośności 9x19 mm Parabellum Action 3 [83], dzięki uprzejmości Jordi Camerón Vinaixa, <http://www.municion.org>

Innym rozwiązaniem jest nabój z rozdzielającym się pociskiem, co zostało przedstawione w pracy [31]. Autorzy zaprojektowali pocisk do naboju 9×18 mm pokazany na rysunku 55 o donośności zmniejszonej czterokrotnie w porównaniu do pocisku pełnopłaszczowego.



Rys. 55. Pocisk 9x18 mm o zmniejszonej donośności według patentu Nr 180835

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. Skuteczny zasięg takiego pocisku ograniczony jest do około 75 m. Prędkość wylotowa korpusu wynosi 275 m/s, a strata energii kinetycznej 1,94 J/m.



Rys. 56. Pociski fragmentujące: a) wykonane z proszków metalu, b) przekrój pocisku [10], dzięki uprzejmości Oak Ridge National Laboratory

W latach 1970-1980 tacy 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, rtęci, strontu, baru, antymonu [84]. Spłonki w tych nabojach również nie mogą zawierać ołowiu, ale nie powinno to zmniejszyć ich własności użytkowych. Jednym z nowszych, lecz już powszechnie zaakceptowanych rozwiązań tak postawionego zadania, są naboje z pociskami tzw. fragmentującymi (o zmniejszonym rykoszetowaniu i ograniczonej penetracji – rysunek 56). Pociski te dzielą się na dużą ilość części po zderzeniu

z twardą przeszkodą, co ogranicza ich zdolności penetracyjne, ale pozwala na bardzo szybkie przekazanie trafilnemu 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 $12 \cdot 10^{-6}$ kg, szybko tracą energię kinetyczną, nie zagrażając w ten sposób następnym celom [44].

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, 7,62×39 mm). Podstawowe problemy związane z tymi nabojami to: nadmierna 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 naboików. 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 (rysunek 57). 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 (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 poci-

sków są takie, jak dla pocisków o tradycyjnej budowie (tabela 17), a celność (ze względu na jednorodność budowy) może być nawet lepsza. Pocisk fragmentujący musi być odporny na działanie wody.



Rys. 57. Pocisk fragmentujący firmy Glaser Safety Slug: w górnym rogu – pocisk kompletny, w środku – pocisk po rozcaleniu [71], dzięki uprzejmości FirearmsID <http://www.FirearmsID.com>

Tabela 17. Amunicja fragmentująca z proszków miedzi firmy Delta z USA [68]

Kaliber	Masa pocisku [$\cdot 10^{-3}$ kg]	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

6.2. Budowa wybranych naboїв do gładkolufowych strzelb bojowych

Gładkolufowe strzelby znane i używane są zarówno w wojsku (w Europie od połowy XVI wieku), 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 naboїв o bardzo zróżnicowanej budowie, do oddawania strzałów na odległość nie większą niż 100 m (50 m dla pocisków śrutowych). Oprócz naboїв śrutowych 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% [39]. Wadą natomiast jest duży ich rozmiar, mała szybkostrzelność, mała donośność pocisków, aczkolwiek prowadzone są prace badawcze mające na celu ograniczenie takich niedogodności. Gładkolufowe strzelby bojowe największe zastosowanie znalazły w USA, już od czasów wojny secesyjnej. W Europie w XVIII i XIX wieku wykorzystywane były, z różnych względów, sporadycznie aż do czasów I wojny światowej. Taktycy wojskowi brytyjscy i francuscy rozważali wówczas możliwość zastosowania gładkolufowej broni i amunicji śrutowej. Z powodu trudności z szybkim przeładowaniem strzelb oraz źle dobranej amunicji (śruciny o zbyt małej średnicy – $3 \cdot 10^{-3}$ m), projekt ten nie został zrealizowany. 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 – $8,38 \cdot 10^{-3}$ m, tzw. buckshot Nr 00. Broń ta przeznaczona była głównie do walk na małych odległościach, ataków na pozycje karabinów maszynowych. Zastosowanie strzelb gładkolufowych spowodowało wówczas wystosowanie oficjalnego protestu rządu Niemiec, odnośnie do legalności używania podczas wojny takiej broni, który jednak został odrzucony przez rząd USA. Mała donośność broni gładkolufowej ogranicza jej zastosowanie w klasycznych działaniach wojskowych, w otwartym terenie. Natomiast 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 myśliwskich. Łuska w kształcie walca, z kryzą wystającą (metalowa część tzw. okucie), może być wykonana z tektury, tworzywa sztucznego lub mosiądzu (rysunek 58). 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 wystrale [46].



Rys. 58. Schemat budowy naboju śrutowych do strzelb gładkolufowych: ze śrucinami: a) ołowianymi, b) stalowymi, c) ze stopu wolframu z żelazem [70], dzięki uprzejmości Federal Cartridge Company oraz d) naboju proszkowego, dzięki uprzejmości Dynamit Nobel AmmoTec; oznaczenia: 1 – łuska, 2 – śruciny, 3 – przybitka, 4 – ładunek prochowy, 5 – spłonka, 6 – przybitka, 7 – obudowa metalowa łuski, 8 – koszyczek, 9 – proszek amortyzujący zderzenia śrucin

Tabela 18. Wybrane parametry naboju do strzelb gładkolufowych [91]

Kaliber [wagomiarowy]	Średnica lufy [$\cdot 10^{-3}$ m]	Długość łuski [$\cdot 10^{-3}$ m]	
		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

Zarówno średnica śrucin, jak i materiał, z którego są wykonane (zwłaszcza jego gęstość i twardość), mają duży wpływ na balistykę końcową. Podczas prze-mieszczania 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 twardości. 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 $30 \pm 4 \cdot 10^{-3}$ kg i zależy od kalibru oraz przeznaczenia naboju. Kaliber amunicji do broni gładkolufowej określa się zgodnie z tradycją za pomocą tzw. wagomiaru kulistego pocisku [46]. Zgodnie z tym systemem kaliber oznacza liczbę kul np. 12, o łącznej masie jednego funta angielskiego (0,45359 kg), wykonanych

z czystego ołowiu, o jednakowej średnicy, równej średnicy wewnętrznej części prowadzącej lufy. Najczęściej stosowane są naboje kalibru 12 (tabela 18). Długości łusek, przed zawinięciem powinny być dopasowane do wymiarów komory nabojowej, wynoszą one najczęściej: $65 \cdot 10^{-3}$ m, $69,8 \cdot 10^{-3}$ m, $76 \cdot 10^{-3}$ m, $88,7 \cdot 10^{-3}$ m. Średnica śrucin może zmieniać się od $2 \cdot 10^{-3}$ m do $6 \cdot 10^{-3}$ m, tzw. birdshot, oraz od $6 \cdot 10^{-3}$ m do $9 \cdot 10^{-3}$ m, tzw. buckshot, co przedstawiono w tabeli 19.

Tabela 19. Oznaczenia i parametry pocisków (z ołowiu) w amerykańskich nabojach śrutowych kalibru 12 [91]

Nazwa naboju	Oznaczenie wielkości śrucin	Masa pojedynczej śruciny [$\cdot 10^{-3}$ kg]	Średnica śruciny [$\cdot 10^{-3}$ m]	Liczba śrucin, wykonanych z ołowiu o masie $28,36 \cdot 10^{-3}$ kg (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
	BBB	0,61	4,83	45
	T	0,71	5,08	40
	F	0,95	5,59	30
Śrutowy, tzw. buckshot	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

Naboje oznaczane są przez podanie kalibru i długości łuski wyrażonej w milimetrach [$1\text{mm}=1 \cdot 10^{-3}$ m], np. 12/70. Masa ładunku prochowego wynosi od $1,5 \cdot 10^{-3}$ kg do $2,3 \cdot 10^{-3}$ kg. Prędkość wylotowa pocisków śrutowych i kulowych wynosi około 400 m/s. Wartość średnia ciśnienia maksymalnego gazów procho-

wych dla nabojów śrutowych wynosi około 68 ± 4 MPa (90 MPa dla naboju magnum).

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 (rysunek 59). 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.

a)



b)



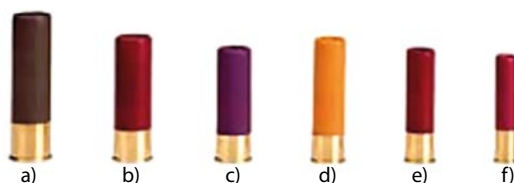
c)



Rys. 59. Strzelba gładkolufowa Remington: a) model M870 z akcesoriami [64], b) model M 870, widok z prawej strony, c) model M 870 MCS [86], dzięki uprzejmości Remington Arms Company

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 (rysunek 58). Masa całkowita pocisku jest wprawdzie duża, lecz masa pojedynczej śruciny jest mała (tabela 19). Energia kinetyczna wylotowa pocisków śrutowych również jest dość 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. 00 buckshot po przebyciu drogi 50 m zmniejsza się o 50% a po przebyciu drogi 100 m zmniejsza się o 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 – parametr S , który występował we wzorze [1]. Zakładając kulisty kształt śrucin, pomiędzy ich średnicą a wartością tego parametru występuje liniowa zależność. Wartość parametru S 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 [29]. Z tego powodu m. in. zostały opracowane naboje o tzw. zmniejszonej energii odrzutu, np. firmy Federal z USA (rysunek 60).



Rys. 60. Naboje firmy Federal (USA) do broni gładkolufowej kalibru [70]; a) 10, b) 12, c) 16, d) 20, e) 28, f) .410, dzięki uprzejmości Federal Cartridge Company

Skuteczność działania naboiów 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 $4,5 \cdot 10^{-3}$ m, 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 $6 \cdot 10^{-3}$ m (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 tworzą najlepszą kompozycję 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%).

W ramach programu CAWS (ang. close assault weapon system) – system broni do walki na małą odległość, firmy Heckler & Koch z RFN oraz Olin-Winchester z USA opracowały automatyczną strzelbę gładkolufową [30]. Amunicję do tego typu broni stanowią naboje o kalibrze 19,5×76 mm zawierające gruby śrut ołowiany, kulki wolframowe lub strzałki. Łuska naboju jest mosiężna. Śrut ołowiany może przebić ustawioną w odległości 150 m deskę sosnową o grubości $19 \cdot 10^{-3}$ m, a kulki wolframowe płytę z miękkiej stali o grubości $1,5 \cdot 10^{-3}$ m, ustawioną w tej samej odległości. Program ten został zamknięty, a produkcja seryjna broni nie została uruchomiona.

Naboje kulowe występują w różnych odmianach, lecz kształt większości pocisków zbliżony jest do tzw. konstrukcji Brennekego lub Fostera [46]. W pociskach tych z metalowym korpusem zespolona jest na stałe lekka włótkowa 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.

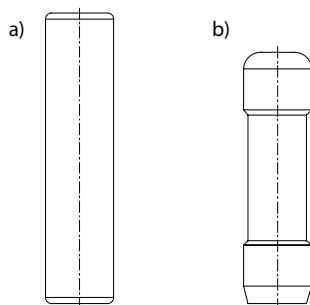


Rys. 61. Pociski do nabojów kulowych firmy Brenneke: z lewej strony – dwa pociski z tzw. stabilizatorami typu B.E.T., z prawej strony dwa pociski o klasycznej konstrukcji, dzięki uprzejmości Brenneke GmbH oraz Pana K. Wiszniewski <http://www.giwera.pl/artykuly/2005/02/23/brenneke/brenneke.htm>

W Polsce amunicję do broni gładkolufowej bojowej produkuje Fabryka Amunicji Myśliwskiej w Pionkach. Zakład ten produkuje nabój śrutowy kalibru 12/70 oznaczony LFT 6,8. Pocisk składa się z 12 śrucin ołowianych tzw. loftek o średnicy $6,8 \cdot 10^{-3}$ m, 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 tzw. amunicja proszkowa kalibru 12/70, w trzech odmianach, 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 $19 \cdot 10^{-3}$ kg, 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. Występuje też amunicja proszkowa kaliber 12/70 o dodatkowym działaniu łzawiącym, z pewnym dodatkiem gazu obojętniającego (O-chlorobenzylidenomalalanodinitryl). Nabój tego typu oznaczony CS 98 ma pocisk o masie około $19 \cdot 10^{-3}$ kg zawierający $0,07 \cdot 10^{-3}$ kg 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 $16,4 \cdot 10^{-3}$ m i masie $29 \cdot 10^{-3}$ kg 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.

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 krótkotrwale obojętnienie 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 $150 \cdot 10^{-3}$ kg, miały prędkość początkową 73 m/s i energię kinetyczną 400 J (rysunek 62 a).



Rys. 62. Schemat budowy pocisków bezpiecznych: a) gumowy z roku 1970 L5A7, b) plastikowy L21A1 [63]

„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: $38 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 89 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, wykonanymi z polichlorku winylu o masie $142 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ 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 20. Porównanie niektórych parametrów pocisków plastikowych L21A1 i L5A7 [3]

Oznaczenie pocisku		L21A1	L5A7
Masa pocisku		$96,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg} - 99,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$132 \cdot 10^{-3} \text{ kg} - 135 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
Prędkość w odległości 2m od wylotu z lufy		minimalna 69 m/s maksymalna 76 m/s średnia: 72,5 m/s	minimalna 55 m/s maksymalna 70 m/s średnia: 62,5 m/s
Kształt pocisku		walec o średnicy $37 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, promień zaokrąglenia krawędzi części wierzchołkowej $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, stożek ścięty w części tylnej	walec o średnicy $37 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, promień zaokrąglenia krawędzi części wierzchołkowej i tylnej $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Powierzchnia uderzenia		$284 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	$755 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$
Współczynnik oporu aerodynamicznego		0,24	0,64
Twardość [olRHD]		92-95	85-90
Energia kinetyczna pocisku w odległości (od wylotu z lufy)	2 m	257 J	274 J
	20 m	244 J	246 J
	35 m	230 J	216 J
	50 m	215 J	200 J

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 20. Prędkość pocisku L5A7 wynosiła 62,5 m/s, a jego masa $133 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$. Prędkość pocisku L21A1 wynosi 72 m/s, a masa $98 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, cena około 25 PLN. „Bezpieczna” odległość strzelania tymi pociskami wynosi od 20 m do 50 m.

Pociski L21A1 razem z granatnikiem 37 mm HK L104 i celownikiem optycznym (cena około 6000 PLN) 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 $49 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, a prędkość wylotowa 130 m/s. Pocisk ten składa się z 3 rdzeni metalowych o średnicy $18 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ pokrytych twardą gumą o grubości $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Po opuszczeniu lufy pocisk rozdziela się na 3 części, z których każda porusza się po innym torze balistycznym. 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 (rdzeń metalowy pokryty gumą) o średnicy $17 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ i masie $17 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ 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 $8,42 \cdot 10^{-3}$ kg, potrójnymi o masie każdej gumowej śruciny wynoszącej $3 \cdot 10^{-3}$ kg, składające się z 20 gumowych śrucin każda o średnicy $7,82 \cdot 10^{-3}$ m i masie $5,83 \cdot 10^{-3}$ kg. Donośność tych gumowych pocisków wynosi od 3 m do 13 m. Dla naboju kalibru 12/70 z pociskami cieczowymi (tzw. hydro-kinetycznymi) o masie $4,5 \cdot 10^{-3}$ kg prawdopodobieństwo wystąpienia penetracji jest bardzo bliskie zera (rysunek 63).



Rys. 63. Naboje kalibru 12/70 firmy ALS z USA: a) pocisk z trzema gumowymi śrucinami, b) pocisk hydro-kinetyczny, c) pocisk z woreczkiem tekstylnym, d) pocisk gumowy [62], dzięki uprzejmości ALS Technologies Inc., www.alslesslethal.com

Polskim odpowiednikiem tego typu amunicji „bezpiecznej” są naboje oznaczone jako: „Chrabąszcz”, „Bąk”, „Rój” (rysunek 64).



Rys. 64. Naboje z pociskami gumowymi typu „Chrabąszcz”, „Bąk”, „Rój” [74], dzięki uprzejmości FAM PIONKI oraz Pana K. Wiszniewski <http://www.giwera.pl/artykuly/2003/news15/amuguma.htm>

W naboju „Chrabąszcz” pocisk z gumy o masie $8 \cdot 10^{-3}$ kg, w kształcie cylindra o średnicy $17,4 \cdot 10^{-3}$ m, umieszczony jest na przybitce filcowej lub polietylenowej. Produkowane są trzy typy tych naboju oznaczone symbolami: CHR B 20, CHR B 30 i CHR B 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 nawet pocisk z naboju CHRB 50 nie powinien spowodować (według producenta) poważnych obrażeń u osoby, przeciwko której go użyto. W naboju „Bąk” pociskiem jest gumowa kulka o średnicy 0,0174 m i masie $4 \cdot 10^{-3}$ kg. 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 spowodować (według producenta) poważnych obrażeń u osoby trafionej. Wszystkie wystrzelone pociski powinny być skupione (w odległości 20 m od wylotu z lufy) w kole o średnicy 0,70 m. Nabój „Rój” zawiera 15 kulek gumowych o średnicy 0,0076 m i masie jednej śruciny ok. $0,3 \cdot 10^{-3}$ kg. 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 rozcalania, 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 policj, z powodu małej skuteczności, ponadto w dużym stopniu oprócz chuliganów raniły przypadkowe osoby, co jest niedopuszczalne.



Rys. 65. Zdjęcie: a) strzelby gładkolufowej FNH USA, Inc. LESS LETHAL SYSTEMS FN 303 przeznaczonej do wyrzucania pocisków bezpiecznych oraz pocisków fragmentujących wykonanych z bizmutu i polistyrenu zawierających; b) glikol + 10% OC, c) glikol – pocisk treningowy, d) lakier polimerowy [72]

Potwierdzeniem dużego zagrożenia dla zdrowia uczestników demonstracji, przeciwko którym użyto amunicję 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 (rysunek 65). Pociski te nie powinny penetrować celu. Część przednia pocisków o średnicy $12,27 \cdot 10^{-3}$ m i masie $8,5 \cdot 10^{-3}$ kg wykonana jest z bizmutu, fragmentującego przy

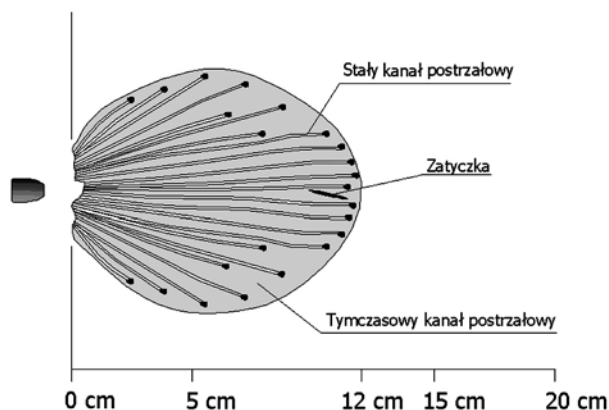
zderzeniu z celem. Część tylna wykonana jest z polistyrenu w kształcie walca odpowiednio profilowanego, który może być wypełniony różnymi cieczami na bazie glikolu, np. glikol + 10% OC. W przedstawionym przypadku zabicia osoby zupełnie przypadkowej pocisk trafił i uszkodził lewe oko, a następnie uległ fragmentacji w mózgu. Prędkość wylotowa pocisków wynosi około 90 m/s, a energia kinetyczna (przypadająca na jednostkę pola przekroju poprzecznego pocisku) około $25 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$, co przedstawiono w tabeli 21.

Tabela 21. Wybrane parametry balistyki zewnętrznej pocisków do strzelby FN 303 [65]

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

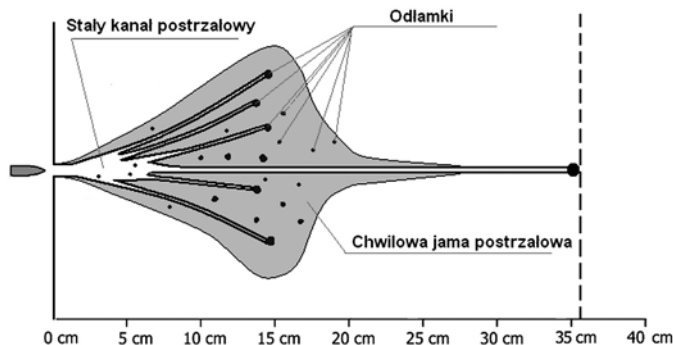
6.3. Balistyka końcowa pocisków fragmentujących lub wystrzelonych z broni gładkolufowej w ośrodkach zastępczych

Pociski z wymuszoną fragmentacją po uderzeniu w przeszkodę rozciągają się bardzo szybko, na bardzo dużą ilość odłamków o masie mniejszej od $12 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$, co zapewnia optymalny transfer ich energii kinetycznej do celu oraz powstaje duża, lecz płytka rana postrzałowa. Charakteryzują się one małą głębokością penetracji i wtedy raczej nie stanowią zagrożenia dla życia trafionego człowieka [14]. Na rysunku 66 pokazany jest schemat rany postrzałowej od pocisku .357 o masie $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ i prędkości 544 m/s wyprodukowanego przez firmę Glaser Safety Slug z USA. Głębokość penetracji wynosi 0,120 m. W przypadku, gdy pociski te nie ulegną fragmentacji głębokość ich penetracji może być znaczna i mogą wtedy stanowić poważne zagrożenie dla życia.



Rys. 66. Schemat rany postrzałowej od pocisku fragmentującego .357 Glaser Safety Slug [14]

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. W przypadku pocisku .45 Auto HP, rysunek 67, odłamki części wierzchołkowej penetrują na głębokość około $150 \cdot 10^{-3}$ m, a część tylna o masie $5 \cdot 10^{-3}$ kg na głębokość około $360 \cdot 10^{-3}$ m. Średnica rażenia odłamków wynosi około $120 \cdot 10^{-3}$ m. Pocisk w ten sposób szybko przekazuje ośrodkowi swoją energię kinetyczną jak i penetruje na zadawalającą głębokość.

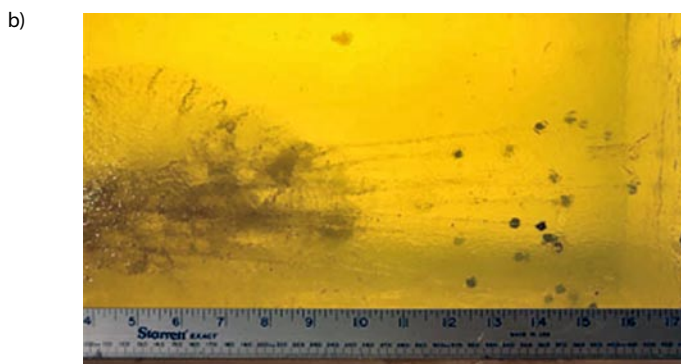
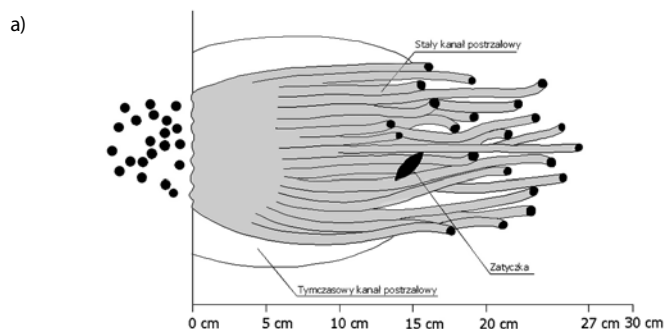


Rys. 67. Schemat kanału postrzałowego dla pocisku .45 Auto HP Special Duty™ firmy Int. Cartridge Corporation z USA (o masie $10 \cdot 10^{-3}$ kg) po zderzeniu z żelatyną balistyczną, z prędkością 366 m/s [77]

Pocisk śrutowy kalibru 12/70 Nr 00 posiada energię kinetyczną wylotową prawie równą energii pocisku karabinowego 7,62×63 mm Springfield. Energia kinetyczna pocisku kulowego o masie $26 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości 488 m/s wynosi około 3400 J a więc jest jeszcze większa. Podstawowym mechanizmem ranienia przez pociski wystrzeliwane 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 trafią 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. 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 [57]:

- 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 po za 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).

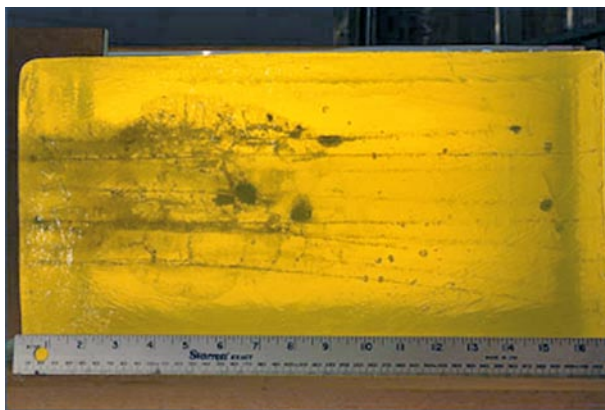


Rys. 68. Rana postrzałowa w żelatynie balistycznej po oddaniu strzału z naboju śrutowego kaliber 12/70: a) schemat [14], b) zdjęcie pocisku Federal Nr 4 buckshot penetrującego żelatynę balistyczną [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

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 68a 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 wynosi 412 m/s, a ich łączna masa wynosi $35 \cdot 10^{-3}$ kg. Średnica koła, w którym skupiają się wszystkie śruciny wynosi około 0,08 m. Śruciny mają małą masę i szybko tracą prędkość, co powoduje, że nie penetrują głęboko. Głębokość penetracji wynosi do około 0,25 m.

Na rysunku 68b przedstawione jest zdjęcie pocisku Federal Nr 4 penetrującego żelatynę balistyczną. Każda śrucina jest przyczyną powstania małej rany postrzałowej (stała i chwilowa jama postrzałowa). Naczynia krwionośne pomiędzy poszczególnymi kanałami, mogą również ulec zniszczeniu [12], zwłaszcza na drodze pierwszych 0,15 m gdzie część stałych kanałów postrzałowych jest połączona, głównie w wyniku wzajemnego oddziaływania chwilowych jam postrzałowych. Śruciny w tym naboju uznawane są za najmniejsze, jakie można stosować w nabojach o przeznaczeniu bojowym. Głębokość penetracji jest wystarczająca (tabela 22) a liczba śrucin odpowiednio duża. Przy małych odległościach od wylotu z lufy prawdopodobieństwo obezwładnienia przeciwnika pierwszym strzałem jest nawet większe niż dla naboju kaliber 12/70 Nr 00 lub Nr 1.

Zastosowanie śrutu o większej twardości lub większych rozmiarach umożliwia zwiększenie głębokości penetracji do 0,419 m dla naboju Remington Nr 1, co pokazano na rysunku 69, a nawet do 0,566 m dla naboju Federal Classic Nr 00. W niektórych nabojach np. Remington Nr 00 Managed Recoil śruciny po wyjęciu z żelatyny były nieznacznie zdeformowane.



Rys. 69. Penetracja pocisku śrutowego naboju Remington Nr 1 buckshot w żelatynie balistycznej [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

Tabela 22. Wybrane parametry balistyki końcowej, w bloku żelatyny balistycznej 10% o wymiarach $(229 \times 229 \times 483) \cdot 10^{-3}$ m, pocisków do nabojęw kaliber 12/70 wystrzelonych z odległości 2,74 m ze strzelby gładkolufowej Remington 870, o długości lufy $457 \cdot 10^{-3}$ m [91]

Oznaczenie naboju	Długość stałego kanału postrzałowego [$\cdot 10^{-3}$ m]	Szerokość jamy postrzałowej [$\cdot 10^{-3}$ m]	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

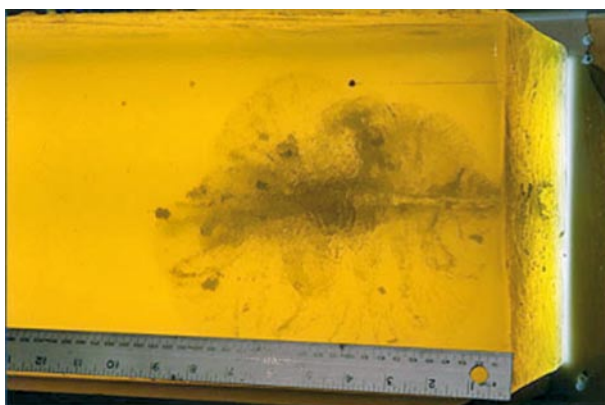
* strzelba z lufą o długości $356 \cdot 10^{-3}$ m

Na podstawie wyników testów balistycznych przedstawionych w tabeli 22 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 (rysunek 70) w porównaniu do miękkich ołowianych pocisków 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.



Rys. 70. Zdjęcie pocisku breneki po zderzeniu z żelatyną balistyczną 10% [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

Głębokość penetracji pocisków kulowych fragmentujących wynosi $191 \cdot 10^{-3}$ m i jest za mała (rysunek 71) aby mogły być stosowane w celach ofensywnych. Natomiast posiadają one ograniczone zdolności do rykoszetowania, co jest dużą zaletą.



Rys. 71. Penetracja pocisku kulowego fragmentującego w żelatynie balistycznej 10% [91], dzięki uprzejmości Eclectic Works Company, Calgary Alberta, Kanada

Policjanci i żołnierze do walki z demonstrantami często stosują amunicję (tzw. bezpieczną), wystrzeliwaną z broni gładko lufowej. Amunicja taka powinna powodować silny ból i krótkotrwale obezwładnienie, ale równocześnie minimalne komplikacje medyczne wśród trafionych osób. Istniejące modele teoretyczne opisujące rany powodowane przez amunicję bezpieczną są poprawne, co najwyżej dla niektórych pocisków i miejsc trafień [53]. Wynika to z trudności uwzględnienia wszystkich parametrów związanych z pociskiem oraz żywym organizmem, w który trafia. Dlatego też przyjmowane jest, że nabój bezpieczny przy strzale z odległości 10 m od wylotu z lufy nie powinien spowodować ugięcia większego od $42 \cdot 10^{-3}$ m powierzchni bloku żelatyny balistycznej. Dla zapewnienia jednak skuteczności działania tych naboju ugięcie to nie może być mniejsze od $5 \cdot 10^{-3}$ m (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. 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. 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:(160 000-18 000), 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 567 oczu powodujące w 86 przypadkach konieczność enukleacji gałki lub inne trwałe poważne ograniczenie widzenia (143 oczy z utratą poczucia światła). Pociski wykonane z metalu pokrytego warstwą gumy mogą spowodować zarówno rany powierzchniowe jak i mogą penetrować w głębię trafionego organizmu. Badania przeprowadzone przez izraelskich lekarzy podczas rozruchów społecz-

nych w Hajfie, Nazarecie, Umm El Fahem w roku 2000 [32] 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 było w głowę, szyję lub twarz. Rany w głowę są zawsze niebezpieczne i były bądź powierzchowne (lecz w paru przypadkach spowodowały wstrząs mózgu) bądź też były to np. pęknięcia kości, złamania podstawy czaszki. Rany w twarz, a zwłaszcza w oko są również bardzo niebezpieczne i często powodują utratę wzroku, a 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 umarł, w wyniku komplikacji pooperacyjnych.

Mimo przyjętego założenia, iż amunicja tzw. bezpieczna nie powinna zadawać dotkliwych ran, często zdarzają się groźne wypadki, również w Polsce np. [23]:

1. Nabój „Bąk” wystrzelony został z odległości 5 m, ze strzelby typu Mossberg wycelowanej w nogi biegnącego mężczyzny. W wyniku postrzału u 19-letniego mężczyzny stwierdzono ranę nadbrzusza środkowego. Rana miała średnicę 0,02 m, i nierówne postrzępione, ciemne brzegi. Ranny był przytomny, ale z utrudnionym kontaktem słownym, z prawidłowym ciśnieniem tętniczym krwi i z przyspieszonym tętnem (2/s). Miał wzdęty, żywobolny brzuch, z zaznaczonym objawem Blumberga i z niesłyszalną perystaltyką. Podczas badania jamy brzusznej tomografem komputerowym stwierdzono obecność hyperdensyjnego ogniska obrazującego obecność kulistego ciała obcego o średnicy 0,017 m, zlokalizowanego poniżej głowy trzustki, w bliskości żyły czczej dolnej. Drugie takie ognisko o średnicy ok. 0,055 m, odpowiadające krwiakowi zaotrzewnowemu znajdowało się w pobliżu poprzedniego. Na poziomie lewego płata wątroby, podtorebkowo był widoczny ślad powietrza. Podczas zabiegu operacyjnego w jamie otrzewnej stwierdzono 0,2 l krwi, ranę postrzałową brzegu prawego płata wątroby, z „fragmentami pocisku gumowego”, tkwiącymi w jego miększu oraz otwór o średnicy 0,01 m w przednio-przyśrodkowej ścianie zstępującego odcinka dwunastnicy. W tym miejscu w świetle dwunastnicy znaleziono „plastikowy pocisk” a drugi fragment „gumowego pocisku” usunięto z krezki poprzecznic. Fragmenty pocisku znalezione w jamie brzusznej były częściami składowymi naboju „Bąk” (kula gumowa, dwie przybitki filcowe i dwie przybitki tekturowe). Obrażenia jamy brzusznej opatrzono chirurgicznie, a przebieg pooperacyjny choroby był niepowikłany i pacjenta po 11 dniach wypisano z Kliniki. Na kurtce postrzelonego mężczyzny nie znaleziono osmalin powystrzałowych ani ziaren prochu.
2. Policjanci wystrzelili ze strzelby typu Mossberg do 30 agresywnie zachowujących się mężczyzn, 6 naboju „Chrabąszcz 20”, 6 naboju „Chrabąszcz 30”, dziesięć naboju typu „Chrabąszcz 50” oraz osiem naboju typu „Bąk”.

Większość napastników doznała tylko ran powierzchownych w postaci siniaków. U jednego z postrzelonych stwierdzono podłużną, dziesięciocentymetrową ranę szarpaną, zlokalizowaną w prawej okolicy pachwinowej. Rana powstała w wyniku oddania strzału, gdy napastnik chwycił za lufę broni. Kanał tej rany przebiegał wzdłuż powrózka nasiennego, w kierunku prawego jądra. Podczas operacji na jego przebiegu znaleziono pocisk gumowy, dwie przybitki tekturowe i jedną wołokową pochodzące z naboju „Chrabąszcz 30”, oraz dziewięć fragmentów plastikowej zatyczki stosowanej w naboju „Bąk”. Na spodniach i bluzie ранego stwierdzono rozerwanie materiału oraz osmaliny powystrzałowe i drobiny ziaren prochu (w promieniu 0,110 m) w miejscu, gdzie pocisk uszkodził tkanki pachwiny. Świadczyło to o tym, że strzał ten padł z bliskiej odległości od ciała. Ponadto po prawej stronie kurtki postrzelonego stwierdzono dodatkowo rozerwanie materiału spowodowane pociskiem gumowym „Chrabąszcz 30”, który wraz z przybitką filcową utkwiał pomiędzy warstwami tej części odzieży. Po 9-dniowym niepowikłanym leczeniu pacjent opuścił szpital.

7. Indywidualne środki ochronne

7.1. Kamizelki kuloodporne

Duża oferta handlowa producentów kamizelek kuloodpornych (ponad 65 firm) oraz wielość nowych określeń związanych z ich budową wprowadza przyszłego użytkownika w zakłopotanie, czy kamizelka, którą chce wybrać, gwarantuje należytą ochronę jego życia. Jednym z celów niniejszego rozdziału jest ułatwienie takiego wyboru. Kamizelki kuloodporne są rodzajem odzieży ochronnej zabezpieczającej przed szkodliwym działaniem różnych odłamków i pocisków wystrzelonych z pistoletów, rewolwerów, pistoletów maszynowych lub karabinów. Używane są głównie przez żołnierzy, policjantów i funkcjonariuszy służb porządkowych. Używanie kamizelek kuloodpornych przez inne osoby jest w zależności od państwa zabronione np. w USA, lub dozwolone, np. w Wielkiej Brytanii. Nazywanie tych kamizelek kuloodpornymi jest trochę mylące, ponieważ chronią one głównie przed pociskami kalibru 0.22 LR. W przypadku innych pocisków stopień ochrony zależy od budowy kamizelki. Każdy użytkownik musi jednak pamiętać, że nawet najlepszą kamizelkę, podczas pełnienia obowiązków służbowych, trzeba używać bez żadnych przerw i dopiero tylko wtedy może zapewnić przewidywany stopień ochrony. Z danych statystycznych FBI wynika, że w latach 1989-1998 w USA zginęło podczas pełnienia obowiązków służbowych 270 policjantów, pomimo noszenia kamizelki kuloodpornej. W 17 przypadkach kamizelka została przestrzelona. W pozostałych 253 przypadkach policjanci zostali śmiertelnie trafieni poza obszarem ochronnym kamizelki: w głowę 153 osoby, ponad kamizelką 32 osoby, poniżej kamizelki 28 osób, z boku 40 osób. W ciągu ostatnich 30 lat w USA 2700 policjantów przeżyło trafienie pociskiem dzięki noszeniu takiej kamizelki.

Wraz z pojawieniem się broni palnej, już w średniowieczu podjęto próby udoskonalania istniejących pancerzy w celu skutecznego zabezpieczenia żołnierzy przed działaniem pocisków. Rozwój broni palnej następował jednak szybciej niż rozwój metalowych pancerzy, które mogły ochronić żołnierza przed wystrzelonymi pociskami i jednocześnie pozwalały na prowadzenie walki. Pancerze te były przede wszystkim niewygodne, mało skuteczne i nie zostały zaakceptowa-

ne przez żołnierzy. Podstawowych wad pancerzy metalowych, czyli sztywności i dużego ciężaru, były pozbawione kuloodporne osłony tekstylne w formie kamizelek. Kamizelki kuloodporne tekstylne wykonywano z jedwabiu, lecz mogły one zatrzymywać tylko stosunkowo wolne pociski, były też bardzo drogie – około 10 000 PLN. Arcyksiążę Ferdynand, następca tronu w Austrii, w dniu śmierci 28 czerwca 1914 roku nosił taką jedwabną kamizelkę, zginął ponieważ został trafiony w szyję pociskiem kalibru .32 ACP. Podczas I wojny światowej we wszystkich walczących państwach konstruowano pancerze osobiste chroniące głównie tułów człowieka, lecz duża masa, utrudnianie ruchów żołnierza i brak wystarczającego stopnia ochrony ograniczały ich użycie w walkach. W tym czasie stwierdzono, że około 80% ran było spowodowanych pociskami o małej i średniej prędkości, co w dalszym ciągu powodowało zainteresowanie zastosowaniem takich pancerzy. Około roku 1930 w USA przestępcy zaczęli używać tkaniny tekstylne (bawełniane) kamizelki zdolne do zatrzymania pocisków pistoletowych i rewolwerowych (np. .22, .25 S&W, .38 ACP, .45 ACP) o prędkości do 300 m/s. Doprowadziło to do skonstruowania dla funkcjonariuszy FBI pocisku .357 Magnum, który mógł przebić taką kamizelkę. W roku 1941 armia brytyjska opracowała pancerze osobiste o różnej konstrukcji zbudowane z płyt ze stali manganowej o grubości $1 \cdot 10^{-3}$ m. Brytyjczycy byli zainteresowani osobistymi pancerzami ochronnymi wykonanymi nie tylko z metalu, lecz również niemetalowymi. Były to wielowarstwowe ubiory wykonane z jedwabiu, lnu, bawełny, które często impregnowano różnymi żywicami. Zdaniem taktyków wojskowych, korzyści wynikające z noszenia tych tzw. kamizelek kuloodpornych były mniejsze, niż straty wynikające z mniejszej ruchliwości i możliwości obciążenia żołnierza uzbrojeniem. Problemy te nie miały większego znaczenia dla załóg samolotów i okrętów. Zainteresowanie kamizelkami ochronnymi wzrosło, gdy opublikowano analizę przypadków ranienia lotników amerykańskich, która wykazała, że w 70% rany były spowodowane pociskami i odłamkami o nieznaczonej prędkości. Dla członków załóg samolotów (w zależności od ich funkcji) wykonywano kamizelki ze stali manganowej, o zróżnicowanej konstrukcji, które ważyły około 8 kg i chroniły $1,35 \text{ m}^2$ powierzchni ciała. W kamizelkach tych wykorzystywano też warstwy materiałów z bawełny, a następnie z włókna syntetycznego – nylonu, co zwiększało stopień odporności na przebicie. W roku 1945 zastosowano w kamizelkach płyty aluminiowe i nylon. Zwiększone zainteresowanie taktyków wojskowych ochroną żołnierzy przed odłamkami z min przeciwpiechotnych oraz japońskie kamizelki kuloodporne, zdobyte w walkach na Południowym Pacyfiku, spowodowały opracowanie nowych konstrukcji kamizelek. Kamizelki te różniły się głównie masą, sposobem łączenia płyt aluminiowych, ilością warstw nylonu jako wewnętrznej wykładziny. Znaczny wzrost zainteresowania kamizelkami wystąpił podczas wojny koreańskiej, kiedy to pojawiły się kamizelki całkowicie wykonane z nylonu oraz z żywicy wzmacnianej włóknem

szklanym. Późniejsze modyfikacje tego kompozytu polegały na zmianie rodzaju żywicy. Marynarka wojenna USA zaczęła wykorzystywać takie wielowarstwowe materiały kompozytowe – kamizelki ważyły około 1,8 kg i chroniły 0,84 m² powierzchni ciała.

Z powodu różnorodności konstrukcyjnej pocisków i nabojów występujących w ramach tego samego kalibru, kamizelka, która zabezpiecza użytkownika przed standardowym pociskiem użytym w badaniach, może zostać przebita przez pocisk tego samego kalibru o innej budowie i innych parametrach balistycznych. Z tego względu wyznaczone w badaniach laboratoryjnych stopnie odporności kamizelek na działanie pocisków i odłamków (tabele 23 i 24) mają jedynie za zadanie ułatwienie funkcjonariuszom służb porządkowych wyboru właściwej kamizelki, w zależności od przewidywanego stopnia zagrożenia życia. Oddziaływanie pocisku na kamizelkę (wkłady balistyczne) zależy również od następujących parametrów:

- 1) materiału rdzenia pocisku (rdzeń miękki lub hartowany),
- 2) kształtu i budowy pocisku (płaszczowy, półpłaszczowy),
- 3) prędkości i energii pocisku,
- 4) stabilności lotu pocisku,
- 5) odległości wkładu balistycznego od wylotu z lufy,
- 6) kąta uderzenia pocisku i miejsca uderzenia (blisko krawędzi, środek wkładu),
- 7) warunków pogodowych (temperatury, wilgotności).

Tabela 23. Wymagania dotyczące kuloodporności kamizelek według PN-V-87 000

Klasa kuloodporności	Rodzaj pocisku	Masa pocisku [·10 ⁻³ kg]	Prędkość pocisku [m/s]	Dopuszczalna głębokość wgniecenia podłoża [·10 ⁻³ m]
1	9x18 mm FMJ LC	6,0	300 ⁺¹⁵	40
2	9x19 mm FMJ	8,0	358 ⁺¹⁵	40
3	7,62x25 mm FMJ LC	5,5	420 ⁺¹⁵	40
4	7,62x39 mm FMJ	7,9	710 ⁺²⁰	40
5	7,62x39 mm ¹	7,7	725 ⁺²⁰	40

¹ pocisk przeciwpancerno-zapalający

Podczas określania klasy kuloodporności kamizelki tylko niektóre z tych parametrów brane są pod uwagę. Dlatego też ważne jest, żeby kamizelka posiadała jeszcze pewien zapas bezpieczeństwa (15%), w ramach określonej klasy kuloodporności. W przypadku pocisku z rdzeniem hartowanym do jego zatrzymania niezbędne są dodatkowe wkłady balistyczne. Liczne analizy większych konfliktów zbrojnych w ostatnich latach wykazały, że bardzo duża liczba ran spowodowana była odłamkami o różnych prędkościach. Stąd powstała potrzeba badania odporności kamizelek również na działanie odłamków. Klasę tej odporności (tabela 24) określa się na podstawie znajomości prędkości, przy której istnieje 50%

prawdopodobieństwa, że odłamek o określonym kształcie (standardowy) i o masie $1,1 \cdot 10^{-3}$ kg przebije badaną osłonę balistyczną lub zostanie zatrzymany, tzw. parametr V50. Wartość tego parametru zależy od: twardości materiału odłamka, temperatury, ciśnienia powietrza i wilgotności.

Tabela 24. Wymagania dotyczące odporności na działanie odłamków dla kamizelek kuloodpornych wg PN-V-87000

Klasa odłamkooodporności	Granica ochrony balistycznej V50 [m/s]
1	450<V50<525
2	525<V50<600
3	600<V50<675
4	675<V50<750

W zależności od państwa różne są wymagania odnośnie do stopnia ochrony kamizelki, co zostało przedstawione w tabeli 25. Najczęściej wynika to z różnych przyzwyczajeń użytkowników broni w poszczególnych państwach odnośnie do amunicji. Przykładowo w Europie często stosowane są pociski o dużej prędkości z twardym rdzeniem, podczas gdy w USA pociski ciężkie z miękkim rdzeniem.

Tabela 25. Porównanie klas kuloodporności kamizelek według norm: niemieckich, amerykańskich, brytyjskich i polskich

Rodzaj pocisku, przed którym kamizelka chroni	Masa pocisku [$\cdot 10^{-3}$ kg]	Prędkość pocisku [m/s]	Masa wkładu balistycznego ¹ [kg/m ²]	Klasa kuloodporności kamizelki			
				RFN 1994	USA 2001	Wielka Brytania 1995	Polska 1999
.22 LR LRN	2,60	320 ⁺¹⁵			I		
.38 ACP FMJ RN	6,20	312 ⁺¹⁵			I		
9 x18 mm Makarow	6,00	300 ⁺¹⁵					1
.40 S&W FMJ	11,70	312 ⁺¹⁵			IIA		
.357 Magnum SP FN	10,20	385 ^{±10}				HG1	
9 mm FMJ RN	8,00	332 ⁺¹⁵			IIA		
9 mm FMJ	8,00	360 ^{±10}				HG1	
9 mm FMJ LC	8,00	365 ^{±5}	4,5	L			
.357 Magnum JSP	10,20	427 ⁺¹⁵			II		
.357 Magnum SP FN	10,20	450 ^{±10}				HG2	
9 mm FMJ RN	8,00	358 ⁺¹⁵			II		2
7,62x25mm Tokariew	5,50	420 ⁺¹⁵					3
9 mm FMJ	8,00	410 ^{±10}	7,5	I			
9 mm FMJ	8,00	425 ^{±10}				HG2	
.44 Magnum SJHP	15,55	427 ⁺¹⁵			IIIA		
.44 Magnum SP FN	15,60	440 ^{±10}				HG2	

9 mm FMJ RN	8,00	427 ⁺¹⁵			IIIA		
.357 Magnum FN	7,10	580 ^{±10}	30,0	II			
.223 Remington	4,00	920 ^{±10}	45,0	III			
7,62 x39 mm	7,95	730 ^{±10}					4
7,62x39 mm API	7,70	725 ⁺²⁰					5
.308 Winchester	9,55	830 ^{±10}	45,0	III			
7,62 NATO Ball	9,30	830 ^{±10}				RF1	
7,62x51 mm FMJ M80	9,60	838 ⁺¹⁵			III		
.308 Winchester	9,75	830 ^{±10}	55,0	IV			
.30-06 M2 AP	10,80	869 ⁺¹⁵			IV		

¹Masa powierzchniowa wkładu balistycznego określa jego masę przypadającą na jednostkę powierzchni ochronnej kamizelki. Wyznaczany jest jako masa wkładu balistycznego o powierzchni ochronnej 0,01 m². Parametr ten pozwala porównywać kamizelki o różnej powierzchni ochronnej wykonane z tych samych materiałów. Masa kamizelki jest jednym z parametrów branych pod uwagę przy ich zakupie. Dlatego niektórzy producenci zmniejszają powierzchnię ochraniającą, aby kamizelka była lżejsza. Przy zachowaniu tej samej klasy kuloodporności prowadzi to jednak do obniżenia stopnia ochrony.

Tabela 26. Własności mechaniczne wybranych włókien

Rodzaj włókna	ρ [·10 ³ kg/m ³]	E_1 [GPa]	E_2 [GPa]	G_{12} [GPa]	α_1 [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	α_2 [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	σ [GPa]	ϵ [%]	Cena [PLN/kg]
DYNEEMA SK65	0,97	95			-12,0		3,00	3,5	42,0
Spectra 900	0,97	73					2,60		42,0
Spectra 1000	0,97	113					3,25	2,9	42,0
Spectra 2000	0,97	124					3,50		42,0
Kevlar 29	1,44	83	4,2	2,9	-4,0	54,0	3,60	4,0	16,0
Kevlar 49	1,44	131	4,2	2,9	-4,0	54,0	3,60	2,8	16,0
Kevlar 149	1,44	186					3,40	2,0	16,0
PBO Zylon AS	1,54	180			-6,0		5,80	3,5	53,0
PBO Zylon HM	1,56	270			-6,0		5,80	2,5	53,0
Grafitowe AS	1,75	224	14,0	14,0	-1,0	10,0	2,10	1,6	25,0
Grafitowe HMS	1,94	385	6,3	7,7	-1,0	10,0	1,75		28,0
Szklane	2,45	71	71,0	30,0	5,0	5,0	3,50	4,9	2,5
Węgiel krzemowy SiC	3,20	406	406,0	169,0	5,2	5,2	3,40		263,0

E_1 – moduł Younga w kierunku osi włókna

E_2 – moduł Younga w kierunku prostopadłym do osi włókna

G_{12} – moduł Kirchhoffa

σ – wytrzymałość na rozciąganie w kierunku osi włókna

ρ – gęstość

ϵ – wydłużenie przy zerwaniu

α_1 – współczynnik rozszerzalności cieplnej w kierunku osi włókna

α_2 – współczynnik rozszerzalności cieplnej w kierunku prostopadłym do osi

Stopień ochrony balistycznej kamizelek kuloodpornych głównie zależy od własności mechanicznych zastosowanych włókien. Najczęściej stosowane są

włókna polimerowe, przedstawione w tabeli 26, należące do grupy polimerów ciekłokrystalicznych, które mogą generować fazy ciekłokrystaliczne (w stanie ciekłym występują domeny o uporządkowanej budowie, co jest przyczyną anizotropowych właściwości). Większość polimerów ciekłokrystalicznych zawiera w swojej strukturze ugrupowania (znane z niskocząsteczkowych ciekłych kryształów) o kształcie zbliżonym do pręta lub dysku. Ugrupowania te mogą być wbudowane w główne łańcuchy polimerów lub mogą być przyłączone jako ugrupowania boczne. Istnieją też polimery nieposiadające typowych ugrupowań znanych z ciekłokrystalicznych związków organicznych, a mimo to generujące fazy ciekłokrystaliczne. Najważniejszą zaletą polimerów ciekłokrystalicznych, w porównaniu do ciekłych kryształów opartych na związkach niskocząsteczkowych, są ich podwyższone własności mechaniczne.

Do najbardziej znanych klas polimerów ciekłokrystalicznych można zaliczyć głównolańcuchowe poliestry i poliamidy. Poliamidy to polimery, które posiadają wiązania amidowe $-CO-NH-$ w swoich głównych łańcuchach. Poliamidy mają dużą zdolność do krystalizacji, którą dodatkowo wzmacnia tworzenie się wiązań wodorowych między atomem tlenu i azotu z dwóch różnych grup amidowych. Dzięki temu poliamidy są bardziej twarde i trudniej topliwe niż poliestry, nie mówiąc już o polimerach winylowych. Z poliamidów produkuje się przede wszystkim włókna nylonowe lub aramidowe. Armidy, a właściwie poliamidy aromatyczne odróżnia od innych poliamidów, np. nylonu, występowanie w ich łańcuchach głównych ugrupowań aromatycznych. Niektóre aramidy zawierają między wiązaniami amidowymi tylko grupy aromatyczne, inne zaś zawierają też ugrupowania alifatyczne. Czym więcej w jego strukturze ugrupowań aromatycznych, tym większa odporność mechaniczna i termiczna, ale spada też rozpuszczalność, co powoduje wzrost trudności przy przetwarzaniu. Duża wytrzymałość na rozciąganie włókien aramidowych spowodowana jest tym, że:

- 1) następujące po sobie ugrupowania aromatyczne i wiązania amidowe tworzą strukturę o dużej sztywności, ze względu na delokalizację elektronów z orbitali π układów aromatycznych na wiązania amidowe,
- 2) sztywne łańcuchy polimeru łatwiej krystalizują i łatwiej porządkują się w trakcie przędzenia, dzięki czemu otrzymane włókna posiadają bardzo uporządkowaną, kierunkową mikrostrukturę [61].

Z włókien aramidowych wytwarzane są, np.: kamizelki kuloodporne i hełmy, ubrania ochronne dla strażaków, lotników, kierowców rajdowych i astronautów, maszty jachtów oraz sprzęt sportowy. Polimery te stosuje się też w postaci cienkich folii, które wprasowuje się między inne materiały, tworząc laminaty o dużej wytrzymałości mechanicznej. Do najbardziej znanych typów włókien aramidowych zalicza się:

- poli-1,4-fenylamid (poliparafenylenotereftalamid) tzw. KEVLAR® firmy DuPont,

- poli-1,3-fenyloamid,
- kopolimer – poli-1,3-fenyloamid – co 1,4-fenyloamid tzw. TWARON® firmy Teijin.

Włókno z KEVLARU® składa się z długich łańcuchów polimerów równoległych do siebie. Wytrzymałość włókien z KEVLARU® wynika z silnych międzycząsteczkowych wiązań wodorowych oraz oddziaływań pomiędzy grupami aromatycznymi w sąsiednich włóknach. Taki rodzaj oddziaływań jest znacznie mocniejszy niż siły van der Waalsa występujące w innych polimerach, np. we włóknach typu DYNEEMA®. Molekuły KEVLARU® mają grupy polarne zdolne do przyłączania wodoru. Cząsteczki wody, które dyfundują do wnętrza włókna mogą zająć miejsca połączeń pomiędzy molekułami, co osłabia materiał, podczas gdy dostępne grupy na powierzchni prowadzą do dobrej zwilżalności. Główną słabością KEVLARU® jest to, że ulega rozkładowi w środowisku alkalicznym, a także gdy działają na niego chlorki, również to, że ulega degradacji pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. Zaletą włókien aramidowych jest bardzo dobra relacja wytrzymałości włókien do ich masy oraz duży moduł Young'a, dobre własności dielektryczne i antymagnetyczne, wysoka – około 823 K temperatura topnienia.

W środkach ochrony indywidualnej stosowane jest też włókno syntetyczne, tzw. DYNEEMA®, należące do grupy polietylenów o bardzo ciężkich cząsteczkach. Włókno to w skali przemysłowej jest produkowane od 1990 roku przez koncern DSM z Holandii. W Japonii włókno to produkuje firma Toyoto, a w USA firma Honeywell (wcześniej Allied Signal). Niezależnie od Holendrów firma ta produkuje też własne, identyczne chemicznie włókno pod nazwą SPECTRA®. Wytrzymałość włókien DYNEEMA® wynika z bardzo długich pojedynczych cząsteczek (znacznie dłuższych niż w KEVLARZE®). We włóknach tych cząsteczki mogą uzyskać stopień równoległości większy niż 95% i stopień krystaliczności do 85%. Punkt topnienia włókien DYNEEMA® wynosi od 417 K do 425 K i nie jest zalecane używanie ich przez dłuższy czas w temperaturze przekraczającej 353 K. Włókna te stają się sztywne w temperaturze poniżej 123 K. Włókna te są tak śliskie, że utrudnia to ich stosowanie, nadto odkształcają się plastycznie przy każdym naprężeniu – pełzają. Są one odporne na wodę, większość substancji chemicznych, promieniowanie ultrafioletowe i mikroorganizmy.

W roku 1998 zaczęto stosować w kamizelkach kuloodpornych bardzo wytrzymałe włókno poliuretanowe o nazwie PBO ZYLON®, o temperaturze topnienia 923 K. Określenie PBO jest skrótem od angielskiej nazwy określającej chemiczną budowę włókna – poly (p-phenylene-2,6-benzobisoxazole) z grupy ciekłokrystalicznych polimerów. Włókno to początkowo zdobyło dużą popularność, jednak po paru tragicznych przypadkach śmierci oficerów, NIJ (ang. *National Institute of Justice*) w USA opublikował raport wskazujący, że kamizelki z Zylonu® wraz z upływem czasu tracą w dużym stopniu (do 30%) właściwości

ochronne. Spowodowało to, że główni wytwórcy tych kamizelek – Second Chance Body Armor Inc. i Armor Holdings Inc. w 2005 roku zaprzestali ich produkcji. Należy zaznaczyć, że własności mechaniczne wszystkich wymienionych włókien ulegają zmniejszeniu wraz z upływem czasu (najczęściej pod wpływem wysokiej temperatury, wysokiej wilgotności, promieniowania ultrafioletowego, światła widzialnego). Dlatego producenci kamizelek muszą to uwzględniać i przewidywać zawsze pewien zapas bezpieczeństwa tak, aby deklarowany stopień ochrony był zachowany do końca okresu gwarancji (najczęściej 5 lat).

Tabela 27. Właściwości wybranych żywic

Żywica	ρ [$\cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$]	E [GPa]	G [GPa]	α [10^{-6} K^{-1}]	σ [MPa]	Cena [PLN/kg]
Epoksydowa	1,54	3,5	1,25	57,5	60	28
Poliestrowa	1,38	2,5	1,20		35	7
Poliwinylowa	1,50	3,0			60	11
Polisulfon	1,25	2,7		56,0	106	49
Polisulfon fenylonu	1,25	4,8		56,0	135	49
Polieteroimid	1,27	3,3		62,0	145	60
Poliamidoimid	1,40	4,8		63,0	197	56
Polieteroeteroketon	1,30	3,6	1,40	45,0	70	63

E – moduł Younga

G – moduł Kirchhoffa

σ – wytrzymałość na rozciąganie

α – współczynnik rozszerzalności cieplnej

ρ – gęstość

Włókna aramidowe i polietylenowe w kamizelkach kuloodpornych są stosowane jako tkane (wzory płaskie i przestrzenne) i nietkane materiały lub jednokierunkowe maty, najczęściej w postaci wielowarstwowych, zszywanych pakietów. Wszystkie włókna występują też w postaci jednokierunkowych preimpregnatów (jedna warstwa równolegle ułożonych włókien, połączonych żywicą – tabela 27), z których wykonywane są metodą prasowania w wysokiej temperaturze wielowarstwowe kompozyty najczęściej o strukturze $(0^0, 90^0)_n$. W przypadku struktury $(0^0, 90^0)_2$ pokrytej od dołu i od góry warstwą folii zabezpieczającej przed tarciem i zużyciem, otrzymujemy cienki, elastyczny tzw. kompozyt Shield; najbardziej znane to Spectra Shield®, Gold Flex®, Zylon-Shield®. Grubsze, zbudowane z większej ilości warstw kompozyty Shield są o wiele bardziej sztywne. Zwarta i uporządkowana struktura kompozytów powoduje, że absorbują one energię uderzającego pocisku lepiej niż porównywalne pakiety tkane, w których włókna zmieniają kierunek ułożenia. Wkłady balistyczne tkane o przestrzennej strukturze mają podwyższoną odporność na wielokrotne uderzenia pocisków. W kamizelkach stosowane są również polietylenowe folie wysokowytrzymałe, które dobrze i równomiernie absorbują energię pocisku. W porównaniu z tka-

nymi materiałami balistycznymi, kompozyty wielowarstwowe oferują najwyższą ochronę balistyczną w testach porównawczych V50; wyższą ochronę przed wielokrotnymi trafieniami oraz znacznie zmniejszają deformację kamizelki spowodowaną uderzeniem pocisku, redukując szok postrzałowy. Najważniejsze czynniki mające wpływ na skuteczność ochrony balistycznej to: rodzaj materiału włókna (głównie moduł Young'a, wytrzymałość na rozciąganie, odkształcenie przy rozerwaniu) i jego grubość, typ splotu (płaski lub przestrzenny) tkaniny lub ułożenie włókien w macie, ilość warstw materiału oraz sposób ich szycia. Właściwości mechaniczne wszystkich włókien ulegają zmniejszeniu w miarę upływu czasu, pod wpływem różnych czynników, np.: temperatury, wilgotności, promieniowania elektromagnetycznego, środków chemicznych.

Głównym zadaniem kamizelki kuloodpornej jest zatrzymanie pocisku. W trakcie tego procesu kształt części wierzchołkowej pocisku ulega zmianie – przyjmuje najczęściej postać kapelusza grzyba. Jeżeli kamizelka nie zdoła zatrzymać tak zdeformowanego pocisku, to wnuknie on do organizmu. Powstająca rana postrzałowa będzie miała kształt zbliżony do rany pokazanej na rysunku 28, lecz głębokość penetracji będzie znacznie mniejsza. Zadanie kamizelki kuloodpornej nie sprowadza się jedynie do uniemożliwienia pociskowi penetracji w żywym organizmie. Pocisk penetrujący kamizelkę powoduje w pewnym obszarze wokół miejsca uderzenia, odkształcenia i przemieszczenia jej wzdłuż trajektorii ruchu. Odkształcona część kamizelki przyjmuje kształt zbliżony do wierzchołka wulkanu, co powoduje rozłożenie w miarę równomiernie energii uderzenia na większej powierzchni. Dopuszczalna głębokość wgniecenia podłoża (powstającego „krateru”) podawana jest zawsze w normach dotyczących badania kuloodporności i jest zróżnicowana w zależności od państwa, np. w Polsce – $40 \cdot 10^{-3}$ m, w USA – $44 \cdot 10^{-3}$ m. W ten sposób pocisk oddziałuje (za pośrednictwem kamizelki) dynamicznie na żywy organizm użytkownika, co powoduje rozchodzenie się fal naprężeń i odkształceń [42]. Oddziaływanie tych fal na żywy organizm omówiono w rozdziale 3. Brakuje danych literaturowych potwierdzających, żeby fale tak generowane spowodowały całkowite obezwładnienie użytkownika. Fale te sprawiają jednak zawsze odczucie bólu i różne komplikacje fizjologiczne w organizmie, co powoduje jego krótkotrwałe obezwładnienie, tzw. szok postrzałowy. Większość kamizelek kuloodpornych może zabezpieczyć ich użytkowników przed penetracją pocisków wystrzelonych ze strzelb gładkolufowych. Na tej podstawie powszechnie uważa się, że kamizelki te chronią przed amunicją do broni gładkolufowej. Takie myślenie jest trochę błędne. Typowy pocisk naboju do broni gładkolufowej ma tak dużą energię kinetyczną wylotową, że pomimo zatrzymania go przez wkład balistyczny, może spowodować bardzo silne stłuczenie z poważnymi następstwami fizjologicznymi dla żywego organizmu.

Z tego względu konstruktorzy kamizelek dążą do zmniejszenia omawianego przemieszczenia, stosując w tym celu różne sztywne płyty, tzw. amortyzatory

uderzenia. Należy pamiętać, że amortyzatory te nie są w stanie zatrzymać pocisku i muszą być używane zawsze razem z wkładem balistycznym. Tkanina kuloodporna pod względem budowy geometrycznej jest podobna do sieci wykonanej z bardzo mocnych nici. Mankamentem wkładów balistycznych tkanych jest to, że miejsca skrzyżowania włókien tkaniny po uderzeniu pocisku działają jako punkty koncentracji naprężenia i dlatego w tych miejscach włókna rozrywają się najłatwiej. Przeciętna kamizelka kuloodporna składa się z około 20 warstw siateczek (klasa IIA – około 16 warstw z Kevlaru®, klasa IIIA – około 30 warstw z Kevlaru®) umieszczonych pomiędzy dwiema warstwami plastiku. Ilość warstw tkaniny lub preimpregnatów we wkładzie balistycznym jest bardzo ważnym parametrem decydującym o jego masie powierzchniowej i klasie kuloodporności kamizelki. Nie jest to jednak decydujące kryterium. Dopiero wtedy, gdy znamy rodzaj zastosowanego włókna i własności mechaniczne, jego zalety i wady, to możemy ocenić zdolności ochronne kamizelki.

Pocisk pistoletowy (o niezbyt ostrej części głowicowej, z miękkiego materiału) uderzając w żywy organizm w większym stopniu miażdży i rozrywa tkankę, niż ją tnie, czy rozsuwa. Postawienie na drodze pocisku materiału sprężystego o bardzo wysokiej wytrzymałości na rozerwanie stwarza szansę zatrzymania pocisku i niedopuszczenia do dalszej penetracji w tkanki organizmu. Materiał ten powinien dodatkowo odkształcić pocisk, powiększając jego średnicę, zmniejszyć i rozłożyć jego energię na możliwie dużej powierzchni [82]. Uderzając w tekstylny wkład balistyczny, pocisk rozrywa pierwsze jego warstwy, ale traci przy tym znaczną część swojej energii kinetycznej zużytej właśnie na rozerwanie bardzo wytrzymałych włókien. Pozostała część energii kinetycznej pocisku powoduje, że cała sieć napręża się i odkształca na znacznie większym obszarze niż obszar trafienia, a jego prędkość zmniejsza się do zera [26]. Pocisk pistoletowy ulega silnemu spłaszczeniu w trakcie tego procesu (zwłaszcza jego część głowicowa). Zjawisko to nazywane jest grzybkowaniem pocisku (rysunek 72).



Rys. 72. Pocisk, który uległ tzw. grzybkowaniu podczas penetracji kamizelki, dzięki uprzejmości TEIJIN twaron

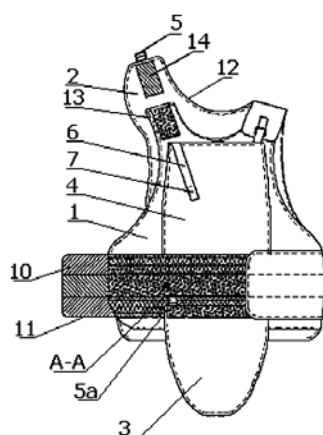
W miarę przebijania kolejnych warstw, co raz mniejsza energia pocisku rozkłada się, na co raz większej powierzchni, aż w końcu staje się niewystarczającą do rozerwania włókien w kolejnych warstwach. Nawet nie mogąc rozzerwać kolejnych warstw wkładu balistycznego, pocisk dalej przemieszcza się. Jego energia jest jeszcze wystarczająco duża, aby zadać ciężkie (zmiążdżenie mięśni, złamanie kości), a przy szczególnie pechowych okolicznościach nawet śmiertelne (pęknięcie organów wewnętrznych, złamanie kręgosłupa) obrażenia. Wobec tego istotną rolę kamizelki kuloodpornej jest również pochłonięcie znacznej części energii uderzenia pocisku i rozłożenie jej na możliwie dużej powierzchni, zmniejszając w ten sposób ugięcie kamizelki. Takie rozwiązania sprawdzają się, gdy trzeba zatrzymać pocisk wystrzelony z pistoletu lub rewolweru o stosunkowo dużym kalibrze, a małej energii. W przypadku ochrony przed pociskami nabojów PDW, pośrednich lub karabinowych, należy zastosować kamizelki o nieco innej budowie, tzw. hybrydowe. Energia tych pocisków może być znacznie większa od energii pocisków pistoletowych, natomiast kaliber często jest mniejszy od kalibru pocisków pistoletowych, a część głowicowa jest ukształtowana w postaci ostrołuku. Rdzeń pocisków jest wykonywany ze stali otoczonej ołowianą koszulką i mosiężnym lub stalowym płaszczem. Zatrzymać taki pocisk jest znacznie trudniej i gdyby próbowano zrobić to jedynie za pomocą tekstylnego wkładu balistycznego, to tak ukształtowana kamizelka okazałaby się grubą, niewygodną oraz niezbyt skuteczną. Aby skutecznie zmniejszyć energię kinetyczną pocisku i rozłożyć ją na jak największej powierzchni, trzeba postawić na jego drodze twardą płytę o wymiarach około $254 \times 300 \cdot 10^{-3}$ m, z np. wysokowytrzymałej stali lub stopu tytanu o grubości od $3 \cdot 10^{-3}$ m do $7 \cdot 10^{-3}$ m, ceramiki o grubości od $13 \cdot 10^{-3}$ m do $17 \cdot 10^{-3}$ m, polietylenu o grubości około $25 \cdot 10^{-3}$ m. Pocisk może przebić taką płytę, ale straci przy tym znaczną część swojej energii i odkształci się. Większą odporność na przebicie posiadają struktury warstwowe zbudowane np. z płyt ceramicznych i polimerowych.

Uderzając w bardzo twardą, lecz kruchą płytę z ceramiki, pocisk niszczy ją, ale przy tym dość mocno się odkształca w swojej części głowicowej. Ceramika (Al_2O_3 , SiC , B_4C , Ti_3SiC_2) rozprasza energię pocisków, ale szybko też spada jej wytrzymałość, a po wielokrotnych trafieniach – kruszy się i pęka. Gdy pocisk uderza w płytę ceramiczną ze średnią prędkością, wyróżnić można cztery fazy: zetknięcie pocisku z ceramiką i hydrodynamiczne płynięcie pocisku i ceramiki, pękanie i fragmentacja pocisku i ceramiki, a następnie dalsze płynięcie materiału pocisku i kawałków popękanej ceramiki z bardzo dużą prędkością, pękanie i płynięcie pocisku oraz tworzenia się spękań w tylnej części ceramiki na skutek działania naprężeń rozciągających, erozja pocisku i rozległe pękanie ceramiki [56]. Z kolei warstwy tworzywa nie pozwalają płycie się rozpaść i jednocześnie hamują tak sam pocisk, jak i odłamki ceramiki, które zamieniają się w pociski wtórne i mogą okazać się niebezpieczne dla użytkownika osłony, o ile nie zostaną zatrzymane. Dodatkową

zaletą płyt kompozytowych w porównaniu ze stalowymi jest znacznie mniejsza masa przy porównywalnych właściwościach odporności balistycznych (ochronnych). Po przebicie twardej płyty pancernej (metalowej lub ceramicznej) pocisk ma już znacznie mniejszą energię kinetyczną i zdeformowaną część wierzchołkową, co pozwala na zatrzymanie go w miękkim wkładzie balistycznym, znajdującym się za płytą. Naturalnie kamizelka kuloodporna wzmocniona twardymi płytami pancernymi jest cięższa, sztywniejsza, a przez to mniej wygodna do noszenia. Mimo to taka kamizelka i tak zabezpiecza jedynie tułów. Skuteczność ochrony kamizelek miękkich z dodatkowymi wkładami (metalowe wkładki z tytanu) została potwierdzona przez żołnierzy amerykańskich podczas konfliktu w Somalii. Nie zanotowano wówczas ani jednego przypadku przebicia przez pociski pancernych płyt chroniących klatkę piersiową i plecy. Śmiertelne okazywały się natomiast częste postrzały w głowę, twarz, szyję oraz podbrzusze. System indywidualnej ochrony przed pociskami i odłamkami dla żołnierzy wojsk lądowych – PASGT, wprowadzony w wojskach lądowych USA w 1980 roku, zastępowany jest od roku 1999 przez zestaw Interceptor Body Armor System. Składa się z taktycznej kuloodpornej kamizelki w klasie IIIA wykonanej z włókien aramidowych (Kevlar) lub polietylenowych (Dyneema) i wyposażonej w dodatkowo dołączane elementy chroniące szyję oraz brzuch (w przyszłości również ramiona i uda). W kamizelce przewidziane są z przodu i z tyłu kieszenie przeznaczone na dołączenie dodatkowych płyt ochronnych, z których każda może zatrzymać trzykrotne uderzenie pocisków kalibru 7,62 mm przy prędkości uderzenia 838 m/s. Płyty te w postaci kompozytów warstwowych wykonane są z ceramiki (węglik boru) i kompozytu żywicy wzmocnianej włóknami polietylenowymi Spectra/Dyneema, kosztują około 1000 PLN. Masa kompletnej kamizelki Interceptor Body Armor System (rysunek 73) wynosi 7,4 kg, przy czym masa samej kamizelki – 3,8 kg, a masa każdej z płyt – 1,8 kg. Kamizelki te występują w 8, a płyty w 5 różnych rozmiarach.



Rys.73. Kamizelki kuloodporne używane w armii USA: a) Interceptor Body Armor, b) SPEAR Body Armor [88a]



Rys. 74. Kamizelki kuloodporne: a) konstrukcja opracowana przez WITU [94], b) zdjęcie kamizelki typu OLV dla żołnierzy wojsk lądowych, produkowanej przez firmę LUBAWA S.A. [80]

W Wojskowym Instytucie Techniki i Uzbrojenia w Zielonce koło Warszawy zaprojektowano następującą kamizelkę kuloodporną – rysunek 74a. Składa się ona z części przedniej, tylnej oraz osłony podbrzusza, połączonych ze sobą za pomocą taśm samoszczepnych oraz taśm zabezpieczających, zawierająca w każdej części wkład balistyczny oraz kieszeń na dodatkowy wkład. Kamizelka charakteryzuje się tym, że w części przedniej (1) na górnym obrzeżu kieszeni (4), ma taśmy zabezpieczające (6), zaopatrzone na końcu w taśmę samoszczepną (7). Kieszeń (4) posiada na dole na linii (A-A) otwór do umieszczania dodatkowego wkładu balistycznego. Ponadto na linii (A-A) zamocowane są dwie ramki podwójne (5a), przy czym na naramiennikach części tylnej (2) umieszczone są dwie ramki podwójne (5). Osłona podbrzusza (3) w linii górnej zaopatrzona jest w dwie taśmy zabezpieczające, a na końcach ma taśmę samoszczepną. Równocześnie kształt i wielkość osłony podbrzusza (3) pozwala na umieszczenie jej w kieszeni (4), przy czym kształt tej osłony odpowiada wycięciu części tylnej (2) w okolicach szyi (12), natomiast wszystkie wkłady balistyczne posiadają jeden szew łączący je z tkaninami osłonowymi. Kamizelka typu OLV (rysunek 74b) przeznaczona jest dla żołnierzy wojsk lądowych. Składa się z poszycia zewnętrznego (wodoodporna tkanina poliestrowa z nadrukiem maskującym), wkładów balistycznych oraz płyty stalowej. Chroni przed pociskami 9×19 mm FMJ o prędkości uderzenia 358^{+15} m/s, a w obrębie płyty przed pociskami 7,62×39 mm zwykłymi, o prędkości uderzenia 710^{+20} m/s. W tabeli 28 przedstawiono wybrane parametry kamizelek kuloodpornych produkowanych przez firmę „RESAL-HELMET” [87].

Tabela 28. Parametry kamizelek kuloodpornych firmy „RESAL-HELMET” [87]

Oznaczenie kamizelki	Klasa odporności	Powierzchnia chroniona dla rozmiaru XL [m ²]	Masa kamizelki dla rozmiaru XL [kg]
RSL 102	1	0,61	3,8
RSL 201	2	0,52	3,5
RSL 202/203	2	0,30	1,5
RSL 103	3	0,43	3,5

Wszystkie kamizeli kuloodporne posiadają certyfikat oraz symbol jakości – klasę kuloodporności. Zazwyczaj tekstylne stroje kuloodporne (zabezpieczające przed pociskami z broni krótkiej) są przyporządkowywane do jednej z trzech pierwszych klas, podczas gdy ochraniające przed ogniem strzelb i karabinów – do którejś z następnych klas. Im wyższa klasa kuloodporności (tabela 23), tym lepsza ochrona przed pociskami i mniejszy szok postrzałowy (tzn. tym słabiej użytkownik odczuwa uderzenie pocisku). Jednak kamizelki te są cięższe i tym bardziej niewygodne w użytkowaniu. Poza tym w przypadku tekstylnych kuloodpornych wkładów balistycznych, każda kolejna wyższa klasa odpowiada większej ilości warstw tkaniny. Kamizelka kuloodporna powinna być dosyć twarda, lecz niepozbawiona całkowicie elastyczności. Należną sztywność można uzyskać poprzez odpowiedni sposób tkania włókien, pokrycie siatki włókien żywicami o umiarkowanych własnościach usztywniających. Wkłady balistyczne tkane ważą więcej niż porównywalne wkłady kompozytowe. Wynika to z faktu, że dla osiągnięcia tego samego stopnia ochrony potrzeba na jednostkę powierzchni we wkładzie tkanym więcej włókien np. aramidowych (5,8-6,5 kg/m²) niż w zwartym wkładzie kompozytowym (5,6-6,0 kg/m²). Właściwości ochronne wkładu balistycznego są znacznie mniejsze, gdy pocisk uderza blisko jego krawędzi. Graniczna odległość punktu trafienia od krawędzi po przekroczeniu, której wkład ma pełne właściwości ochronne wynosi: dla wkładów tekstylnych 0,030 m, a dla wkładów kompozytowych 0,015 m (tabela 29). Podczas przeprowadzania badań laboratoryjnych kamizelek uwzględniane są tylko te trafienia, które znajdują się w odległości co najmniej 0,07 m od krawędzi wkładu balistycznego. Niektórzy producenci kamizelek stosują specjalnie skonstruowane wkłady balistyczne mieszane, tzn. tekstylne, kompozytowe, oraz folie polietylenowe, np.: kompozyt GoldFlex®/włókno aramidowe/folia polietylenowa 5,01 – kg/m², kompozyt Z-Shield/folia polietylenowa – 3,84 kg/m² [67]. Oceniając ich właściwości, należy pamiętać, że na właściwości wkładów mieszanych wpływają nie tylko zalety poszczególnych składników, ale i ich wady. Ważnym parametrem brany pod uwagę przy wybieraniu rodzaju wkładu balistycznego jest jego cena. Wkłady z włókien aramidowych są obecnie o wiele tańsze niż wkłady z włókien PBO.

Tabela 29. Porównanie właściwości wkładów balistycznych tkanych i kompozytowych [9]

Kryterium porównania	Wkłady tekstylne	Wkłady kompozytowe
Elastyczność kamizelki	elastyczność zależy od sposobu tkania włókien; większy komfort użytkowania dają tkaniny, niestebnowane, o rzadszym splocie włókien	im dłuższy czas użytkowania, tym większe odczucie elastyczności; z pierwszego subiektywnego odczucia wynika, że wkłady tekstylne są bardziej elastyczne
Ochrona przed pchnięciem białą bronią	penetracja ostrza broni powoduje rozsuwanie na boki części włókien, bez przecięcia, co nie zmniejsza jego energii	gęściejsze ułożenie powoduje, że więcej włókien musi być rozciętych, co ogranicza głębokość penetracji ostrza
Głębokość wgniecenia kamizelki	większa elastyczność i rzadszy sposób tkania powodują większą głębokość wgniecenia	większa zdolność rozproszenia energii pocisku zmniejsza głębokość wgniecenia
Penetracja poprzeczna	dla zdolności zatrzymania pocisku decydująca jest ilość warstw i sposób tkania włókien	dobra ochrona dzięki dużemu współczynnikowi tarcia pomiędzy warstwami preimpregnatów
Penetracja blisko krawędzi wkładu	pełna zdolność ochronna w odległości 0,030 m od krawędzi	pełna zdolność ochronna w odległości 0,015 m od krawędzi

W zależności od konstrukcji i powierzchni chronionej wyróżniamy kamizelki:

- wewnętrzne o powierzchni chronionej około $0,35 \text{ m}^2$ i grubości do $15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, które noszone są pod warstwą odzieży zewnętrznej i nie mogą być widoczne dla przeciwnika, ponieważ grozi to niebezpieczeństwem oddania strzału w głowę,
- kamizelki zewnętrzne o powierzchni chronionej około $0,6 \text{ m}^2$ oraz ciężkie kamizelki taktyczne o powierzchni ponad $0,75 \text{ m}^2$.

Kamizelki niższych klas odporności nie gwarantują ochrony przed uderzeniem bronią białą, grota strzały lub innego podobnego ostro zakończonych narzędzia. Energia uderzenia (około 50 J), skoncentrowana na powierzchni ostrego stalowego wierzchołka noża, może spowodować, że po pierwszym zagłębieniu się zaczyna on rozciąć włókna (tabela 30). Energia strzały z łuku lub kuszy wynosi około 120 J i jest skoncentrowana na wierzchołku hartowanego stalowego grota, który nie odkształca się przy uderzeniu o kamizelkę, jak to robi pocisk. Wobec tego może przebić (stara się jakby rozsunąć włókna tkaniny ochronnej) tekstylny wkład balistyczny zatrzymujący pociski o ponad dwukrotnie wyższej energii.

Tabela 30. Odporność kamizelek kuloodpornych na przebicie tzw. białą bronią według normy NIJ 0115

Klasa odporności	Energia minimalna przebicia [J]	Energia maksymalna przebicia [J]
1	$24 \pm 0,50$	$36 \pm 0,60$
2	$33 \pm 0,60$	$50 \pm 0,70$
3	$43 \pm 0,60$	$65 \pm 0,80$

Energia przebicia 35 J według normy odpowiada energii, jaką ma ostrze wzorcowe obciążone masą 2,6 kg i spadające z wysokości 1,35 m. Ostrze posiadające taką energię jest w stanie przeciąć płytę stalową o grubości $0,8 \cdot 10^{-3}$ m. Aby zabezpieczyć użytkownika kamizelki przed przebiciem taką bronią, należy wyposażyć ją w dodatkowe wkłady balistyczne. Mogą to być metalowe płytki, płyty kompozytowe, kształtki z aluminium lub związków korundu. Zwiększy się w ten sposób ciężar kamizelki, co spowoduje zmniejszenie ruchliwości użytkownika. Dlatego wielu producentów stosuje rozwiązanie pośrednie, polegające na stworzeniu konstrukcyjnych możliwości czasowego dołączenia takich wkładów, gdy przewidywane jest niebezpieczeństwo użycia białej broni. Zarówno dołączanie, jak i zdejmowanie takich dodatkowych wkładów powinno odbywać się w bardzo krótkim czasie.

Oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego na właściwości włókien polietylenowych jest raczej nieznaczne, natomiast na właściwości mechaniczne włókien aramidowych i poliuretanowych (PBO) wywiera duży wpływ. Pewnym sposobem ochrony jest umieszczenie włókien w szczelnych pokrowcach, które zabezpieczają je przed światłem słonecznym. Wpływ wilgoci na właściwości ochronne kamizelek można analizować z różnych punktów widzenia. Podstawowym problemem pozostaje jednak zawsze odpowiedź na pytanie: w jaki sposób wilgoć podczas codziennego użytkowania, wpływa na właściwości ochronne kamizelki? Woda, która dostanie się do wnętrza wkładu balistycznego, niezależnie od oddziaływania fizyko-chemicznego na włókna zmniejsza współczynnik tarcia pomiędzy włóknami, a tym samym zdolność absorbowania energii pocisku, natomiast zwiększa głębokość jego penetracji. W praktyce oznacza to, że niezależnie od rodzaju zastosowanego włókna kamizelka, która uległa zamoczeniu przed ponownym użyciem, musi zostać dokładnie wysuszona. Włókna polietylenowe są niewrażliwe na działanie wody. Włókna aramidowe i poliuretanowe PBO absorbują cząsteczki wody, co zmniejsza ich właściwości wytrzymałościowe i współczynnik tarcia, a w następstwie tego zmniejsza się ich zdolność zatrzymywania pocisków. Znane i stosowane są wprawdzie powłoki zabezpieczające włókna przed wilgocią, jednak użytkownik kamizelki nie jest w stanie samodzielnie ocenić ich jakości i musi zdać się na gwarancję producenta. W przypadku uszkodzenia powłok tekstylnych zabezpieczających wkłady balistyczne użytkownik z reguły traci gwarancję producenta. Wpływ wilgoci jest bardzo niebezpieczny w przypadku kompozytów wielowarstwowych, gdyż woda wnika pomiędzy poszczególne warstwy (dzięki efektowi kapilarnemu) i obniża jego właściwości wytrzymałościowe. W zależności od zastosowanego hydrofobowego zabezpieczenia włókien proces ten przebiega z różną intensywnością. Należy zaznaczyć, że kompozyty warstwowe aramidowe są o wiele bardziej wrażliwe na działanie wilgoci niż włókna aramidowe tkane. Określanie odporności na działanie wody różni się zależnie od państwa. W USA wkład balistyczny jest polewa-

ny wodą, natomiast w Niemczech wkład taki jest całkowicie zanurzany w wodzie i dopiero wtedy poddaje się go badaniom balistycznym. Utrzymanie kamizelki w należytej czystości również nie jest łatwe. Pranie chemiczne jest szkodliwe dla wkładów balistycznych, a częste pranie w wodzie nie jest zalecane. Kamizelki powinny być prane ręcznie z zachowaniem dużej ostrożności i nie powinny być suszone poza domem. Często analizowany jest również problem palności wkładów balistycznych. Wprawdzie włókna aramidowe są właściwie niepalne, lecz z powodu ochrony przed wilgocią wkłady balistyczne są szczelnie zapakowane w folie z PCW. Podczas oddziaływania wysokiej temperatury na PCW wydzielają się różne trujące gazy, które mogą spowodować śmierć człowieka. Dlatego palność włókien nie jest żadnym kryterium wyboru kamizelki. Aby zabezpieczyć się przed ogniem, należy stosować dodatkowe ognioodporne ubiory. Stopień ochrony, jak i komfort użytkowania kamizelki zależy też od jej dopasowania do ciała użytkownika, zwłaszcza w przypadku kobiet. Pierwsze kamizelki wykonywane były w standardowych czterech wielkościach (S, M, L, XL). Użytkownicy określili jako wygodne jedynie 5% tych kamizelek, dlatego producenci dodatkowo zróżnicowali długość na 5 podgrup. Następnym elementem było zróżnicowanie wycięć na ramiona i szyję. Należy pamiętać, że kamizelka za krótka nie gwarantuje należytej ochrony, a kamizelka za długa będzie niewygodna i podczas używania może się zdeformować i straci gwarancję producenta.

Kamizelki kuloodporne w miejscach, gdzie znajdują się wkłady balistyczne, praktycznie nie przepuszczają powietrza. Z tego względu powstaje problem pocenia się użytkownika pod kamizelką, który istotnie powiększa się przy wzmożonej aktywności fizycznej i podwyższonej temperaturze otoczenia. Duże ilości agresywnego potu (w normalnych warunkach około $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$) oddziałują negatywnie zarówno na skórę człowieka, jak i kamizelkę. Zmniejszenie tego problemu można uzyskać poprzez stosowanie wewnętrznej odzieży wykonanej ze specjalnych materiałów poliestrowych lub polipropylenowych (stosowane są nieraz w sportach wyścizynowych), ułatwiających odprowadzenie potu na zewnątrz kamizelki. Wszystkie te zabiegi mają na celu zachęcenie użytkowników do ciągłego używania kamizelek, a nie do przechowywania ich w bagażniku samochodu lub w piwnicy.

7.2. Hełmy

Hełm jest to ochronne nakrycie głowy używane przez żołnierzy od czasów starożytnych. Ewolucja hełmów związana jest ściśle z rozwojem broni, przed którą należało ochronić głowę żołnierza i warunków, w których były używane. Hełmy średniowieczne przypominają kształtem dzwon. Wykonywano je z jednego kawałka metalu lub łączyło ze sobą kilka elementów[28]. W dolnej części hełmu występowała czasem obręcz stanowiąca jego krawędź, do której mocowa-

no drucianą osłonę, tzw. kolczy czepiec chroniący kark. Twarz osłaniała płytka znajdująca się z przodu dzwonu lub ruchoma zasłona, tzw. nosal. W górnej części dzwonu często mocowano tulejkę na pióropusz lub kitę. We wczesnym średniowieczu (X-XII wieku) „dzwon” hełmu, tzw. szyszak (rysunek 75), zbliżony był kształtem do wypukłego stożka. Wykonywano go z czterech blach stalowych, połączonych nitami, które w dolnej części przymocowywane były do obręczy [87a]. Hełmy te były bardzo efektowne, lecz nie miały dużych zalet ochronnych.



Rys. 75. Replika hełmu szyszak, dzięki uprzejmości Pana P. Nieczarowskiego <http://www.nieczar.civ.pl/foto/chazar.jpg>

W XIV wieku upowszechnił się hełm, którego „dzwon” miał kształt zbliżony do półkuli lub spłaszczonego stożka, tzw. kapalin (rysunek 76). Wykonywano go z kilku kawałków stalowych blach, skuty lub połączonych nitami. Posiadał on rondo przedłużone, lekko opuszczone i rozchylone na boki. W jego wnętrzu znajdowały się zaczepy mocujące czepiec kolczy i wyściółkę. Z biegiem lat stopniowo pogłębiano dzwon i powiększano rondo, które było niekiedy tak szerokie, że wymagało wycięcia szczeliny wzrokowej. Często rondo w części tylnej było dłuższe i tworzyło rodzaj nakarczka. Pod koniec średniowiecza hełmy zaopatrzone w „podbródek”, a na „dzwon” umieszczono grzebień. W Europie używano ich do połowy XVII wieku.



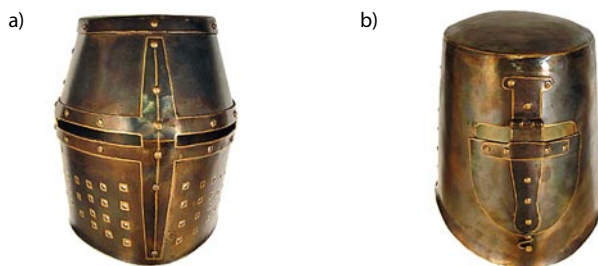
Rys. 76. Hełm typu kapalin, replika, dzięki uprzejmości Pana P. Nieczarowskiego <http://www.nieczar.civ.pl/foto/chazar.jpg>

Od wieku XII do XVIII używane były hełmy stożkowe (rysunek 77). Dzwon o kształcie lekko wybrzuszona stożka, często wykuty był z jednego kawałka żelaza (wraz z nosalem). Na środku dzwonu znajduje się tzw. grań, a haczyk na końcu nosala służył do zaczepiania poły czepca kolczego. W dolnej części dzwonu znajdują się niewielkie otworki świadczące o pierwotnym podkładzie ze skóry lub tkaniny.



Rys. 77. Hełm stożkowy z nosalem: a) replika dzięki uprzejmości Pana P. Nieczarowskiego <http://www.nieczar.civ.pl/foto/chazar.jpg>, b) wojownik w hełmie obręczowym [32a]

W wieku XIII obok hełmów otwartych pojawiają się egzemplarze o spłaszczonym i wydłużonym dzwonie, chroniącym policzki i kark, z ochroną twarzy w postaci wyprofilowanej przestrzennie płyty z otworami wzrokowymi i wentylacyjnymi. W celu lepszej ochrony twarzy wytwórcy hełmów powiększali ową płytę, w wyniku czego powstał charakterystyczny dla tamtego czasu, hełm garnczkowy (rysunek 78). Był on całkowicie zamknięty i chronił głowę oraz częściowo kark i szyję. Hełm garnczkowy w XIII wieku miał kształt cylindra z płaskim szczytem. Dzwon składał się z nitowanych blach wzmocnionych obręczami, a z przodu znajdowała się szczelina wzrokowa oraz otwory wentylacyjne. Na głowę nakładano najpierw czepek z tkaniny lub kaptur kolczy, a następnie hełm. Hełm garnczkowy miał istotne wady: znaczny ciężar, ograniczał pole widzenia, utrudniał oddychanie. Niedostatecznie chronił głowę, gdyż wytrzymałość dzwonu na uderzenia bronią osłabiała skomplikowana budowa złącz i płaski szczyt, po którym nie ześlizgiwały się uderzenia zadane przez przeciwnika.



Rys. 78. Replika hełmów garnczkowych: a) ze szczytem płaskim, b) ze szczytem zaokrąglonym [83b], dzięki uprzejmości Pana A. S. Sporna <http://www.platnerstwo.pl>

Inny typ hełmu, który był powszechny w późnym średniowieczu, to tzw. łebka (rysunek 79). Był to hełm otwarty, stożkowaty, noszony z czepcem kolczym. Łebka powstała w wyniku ewolucji hełmu stożkowego, któremu przedłużono dzwon w części tylnej. Wykonywana była z jednej lub dwóch skutych blach, co zwiększało wytrzymałość na uderzenia. Była to konstrukcja lekka i dobrze chroniąca głowę.



Rys. 79. Hełm typu łebka [34a]

Okolo połowy XIV wieku pojawił się w Europie hełm, zwany przyłbicą. Przyłbica to nazwa hełmu z ruchomą zasłoną, a nie samej zasłony. Zasłona nie była częścią dzwonu, ale łączyła się z nim za pomocą odpowiednich zaczepów. Wypukła, nieprzylegająca do twarzy zasłona, ze szczeliną wzrokową i otworami wentylacyjnymi zastąpiła dotychczasową osłonę nosa tzw. „nosal”. Mocowywano ją na zawiasach z boku dzwonu, co pozwalało zasłonę podnieść lub odłączyć. Innym ty-

pem hełmu popularnym w późnym średniowieczu była tzw. salada (rysunek 80), która prawdopodobnie powstała w wyniku ewolucji kapalina. Hełm miał wydłużoną tylną ścianę dzwonu osłaniającą kark, która przybrała postać nakarczka. Zasłona w saladach miała górną krawędź profilowaną, mocowaną na zawiasach skroniowych. Była to funkcjonalna, prawie zamknięta ochrona głowy [59].



Rys. 80. Salady z końca XV wieku, dzięki uprzejmości Pana P. Nieczarowskiego <http://www.nieczar.civ.pl/foto/chazar.jpg>

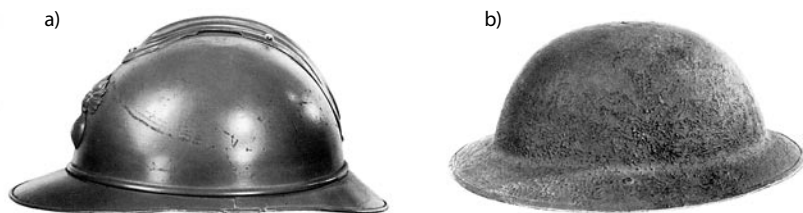
W wieku XVI w Europie używany był hełm, tzw. szturmak, który miał dzwon z wysokim grzebieniem i szerokim nakarczkiem oraz daszkiem. Jego „policzki” umieszczone na zawiasach mogły być odchylane na boki. W wieku XVII powstał hełm otwarty, tzw. pappenheimer (rysunek 81), z policzkami, nakarczkiem i nosalem, używany przez kirasjerów.



Rys. 81. Replika hełmu pappenheimer, dzięki uprzejmości Pana A. S. Sporna <http://www.platnerstwo.pl>

W wieku XVIII i XIX wraz z rozwojem broni palnej powstał hełm stalowy z mosiężnym grzebieniem, zdobiony kitą, tzw. kask. Używany był do I wojny światowej.

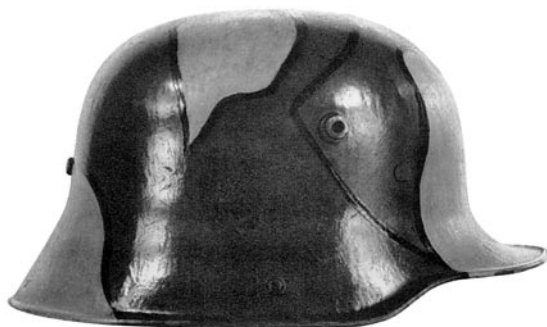
Zmasowane zastosowanie w czasie I wojny światowej broni strzeleckiej, artylerii, różnego rodzaju granatów fragmentujących na duże ilości małych odłamków, spowodowało znacznie większe zagrożenie dla żołnierzy. Powszechne stały się rany głowy – tabela 3. Z danych statystycznych angielskich wynika, że w 75% przypadków można było uniknąć ran śmiertelnych zabezpieczając skutecznie głowę. W większości walczących państw rozpoczęto opracowywanie nowych konstrukcji i technologii masowej produkcji hełmów o dostatecznej odporności na przebicie odłamkami lub pociskami broni strzeleckiej przy minimalnym ich ciężarze. Czerepy hełmów (sztywna zewnętrzna część, która nie dotyka głowy i spełnia główną funkcję ochrony balistycznej) po wytłoczeniu były poddawane obróbce termicznej i wykańczającej. Następnie montowano w nich wyposażenie wewnętrzne (wkład mocujący, wkładka amortyzująca, węzły regulacyjne, pasek potyliczny, obejmą brody), którego głównym zadaniem jest: stabilne, pewne i trwałe mocowanie hełmu na głowie, amortyzacja uderzeń oraz zapewnienie dobrej wentylacji. Hełm powinien utrzymywać swoje zdolności ochronne zakresie temperatur 233-323 K. Obecnie na hełmie montowane jest również wyposażenie dodatkowe np. pokrowiec maskujący, gogle noktowizyjne, instalacja foniczna. Hełmy dzielone są na różne grupy w zależności od: głównego użytkownika (np. policja, wojsko), klasy odporności balistycznej, wyposażenia dodatkowego, rozmiaru.



Rys. 82. Zdjęcia hełmów a) francuski wz.15 Adrian b) angielski Mk 1 [34a]

Pierwszy nowoczesny, stalowy hełm francuski skonstruowano pod kierunkiem, płk. A. Adriana. Został on przyjęty na wyposażenie w armii francuskiej w 1915 roku (rysunek 82a). Hełm zbudowany był z czerepu (z blachy o grubości około $0,7 \cdot 10^{-3}$ m), grzebienia oraz 2 daszków (przedniego i tylnego). Daszki zgrzewano lub nitowano, po czym całość przymocowywano do czerepu przez zawalcowania, tworzące charakterystyczne zgrubienia o szerokości około $3 \cdot 10^{-3}$ m. Brzegi daszków zawijano do góry i zawalcowywano (dla nadania im sztywności i stopienia krawędzi). W szczycie czerepu znajdował się podłużny otwór wentylacyjny, przykryty grzebieniem, podwójnie profilowanym. Grzebień miał 2 otwory wentylacyjne przy powierzchni czerepu. Wyposażeniem wewnętrznym była wkładka ze skóry, składająca się z 6 płatów wiązanych w szczycie oraz potnik. Skórzany potnik oddzielał od czerepu hełmu gruby tekstylny pasek

oraz 4 przekładki z profilowanej blachy aluminiowej. Podpinkę hełmu stanowił pasek ze skóry o szerokości $10 \cdot 10^{-3}$ m, z regulacją przesuwaną klamrą. Podpinaka mocowana była do metalowych zaczepów, przylutowanych do czerepu. Masa hełmu wynosiła 0,67-0,76 kg w zależności od rozmiaru [28].

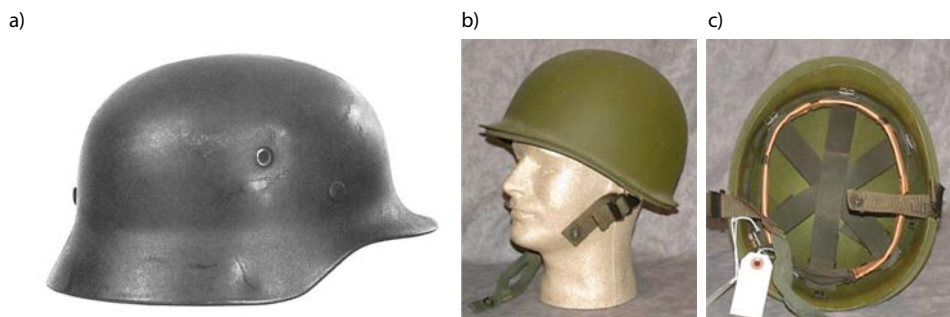


Rys. 83. Niemiecki hełm wz. 16 widok zewnętrzny [34a]

Innym hełmem wprowadzonym na dużą skalę był płaski hełm angielski (ze stali manganowej), wzorowany na kapalinie (rysunek 78) łuczników z XV wieku. Po raz pierwszy zastosowany został również w 1915 roku. Hełm ten jest jednoczęściowy, o bardzo płytkim czerepie, otoczonym lekko pochylonym rondem (rysunek 82b), a jego odporność balistyczna była prawie dwukrotnie większa niż francuskiego Adriana (przy czym masa wynosiła 0,78 kg). Obrzeża runda zabezpiecza zawalcowana nakładka. Elementem nośnym wyposażenia wewnętrznego jest pas ze skóry, o szerokości $25 \cdot 10^{-3}$ m. Do pasa przyszyte są: jutowa tkanina, pasek z wołoku oraz potnik ze sztucznej skóry. Pas jutowej tkaniny połączony jest z drobną siatką z grubych nici, ściąganą w szczycie sznurowadłem. W pasie nośnym znajdują się przecięcia, w które włożone są tulejki gumowe, będące amortyzatorami i elementami dystansowymi, umożliwiającymi wentylację między czerepem i pasem nośnym. Podpinaka skórzana o szerokości około $20 \cdot 10^{-3}$ m ma klamrę, służącą do regulowania jej długości. Hełmy amerykańskie z okresu I wojny światowej wzorowano na angielskich. Wykonywane były z 13% stali manganowej o grubości $0,9 \cdot 10^{-3}$ m. Hełmu tego nie przebija pocisk kalibru .45 o masie $14,9 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości uderzenia 183 m/s. Niemiecki hełm (z blachy chromoniklowej o grubości około $1,1 \cdot 10^{-3}$ m) jest jednoczęściowy, z długim daszkiem i wyraźnie wyprofilowanymi nausznikami i nakarczkiem (rysunek 83). Na czerepie hełmu, znajdują się dwa bolce spełniające funkcje tulejek wentylacyjnych i umożliwiające równocześnie mocowanie dodatkowego, czołowego pancerza. Wyposażenie wewnętrzne składa się z 3 kawałków skóry, każdy wycięty w 2 listki z dziurkami na sznurowadło oraz z przymocowanych do nich kieszeni płóciennych. Kieszenie po wypełnieniu materiałami amortyzującymi uderzenia (np. trawą morską), dopasowują hełm do głowy. Wkładki ze skóry przyszyte

są do skórzaney obręczy, przymocowanej do czerepu 3 rozginanymi nitami. Podpinka z przesuwaną klamrą mocowana jest bezpośrednio do czerepu. W zależności od rozmiarów masa hełmu waha się w granicach 0,98-1,40 kg.

Hełmy, które skonstruowano w okresie pomiędzy I a II wojną światową, różniły się nieznacznie od starych hełmów (rysunek 84a). Zabezpieczały głowę przed odłamkami oraz pociskami karabinowymi, wystrzeliwanymi z odległości większej niż 500 m, które nie uderzały prostopadle do powierzchni czerepu. W nowych konstrukcjach zwracano szczególną uwagę na wyeliminowanie elementów powodujących koncentrację naprężeń, które znacznie osłabiają wytrzymałość hełmu. Odporność hełmów na przebicie zwiększano przez zastosowanie nowych gatunków stali stopowych (chromoniklowe, manganowe – 12%) i przez odpowiedni kształt czerepu, tzn. zminimalizowanie ilości powierzchni o małych krzywiznach oraz równoległych do osi głowy, preferując powierzchnie ukośne, ułatwiające rykoszetowanie pocisków. Hełmy ze stali chromoniklowej (domieszkowanej węglem, manganem, siarką, fosforem, około 4% niklu i 0,25% chromu) o grubości około $1 \cdot 10^{-3}$ m wytrzymywały uderzenia pocisków kalibru 6,5×54R wystrzelonych z odległości 550-600 m oraz pocisków 9 mm Parabellum przy prędkości uderzenia 345 m/s. Wyposażenie wewnętrzne składało się najczęściej z 3, a czasem 4 płatów odpowiednio wyciętej skóry, z umieszczonymi od wewnątrz poduszkami tak, aby odległość między czerepem a głową na linii skroni wynosiła $20 \cdot 10^{-3}$ m i do $40 \cdot 10^{-3}$ m na ciemieniu. W niektórych państwach produkowano hełmy w kilku rozmiarach, w innych zaś tylko w jednym rozmiarze, ale z kilkoma wielkościami wyposażenia wewnętrznego. Masa hełmów osiągała wówczas 1,2-1,4 kg.



Rys. 84. Zdjęcia hełmów: a) niemieckiego wz. 35 [34a], b) amerykańskiego M1, c) wyposażenie wewnętrzne hełmu M1 [83a], dzięki uprzejmości Operation Helmet

W Stanach Zjednoczonych pod koniec lat 30 XX wieku skonstruowano hełm jednoczęściowy, z blachy manganowej o grubości około $1,2 \cdot 10^{-3}$ m. Amerykański hełm M1 (rysunek 84b i c) wytrzymywał uderzenie pocisku kalibru .45 o masie $14,9 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości 244 m/s. Wyposażenie wewnętrzne stanowiła grubościenna powłoka kompozytowa. Hełm kompozytowy stanowił nie tylko wyposażenie wewnętrzne, lecz służył także jako nakrycie głowy w służbie

garnizonowej. Masa czerepu stalowego wynosiła 1 kg, zaś wewnętrznego hełmu około 0,35 kg.

Pierwsze hełmy z tworzyw sztucznych wyprodukowali w niewielkich ilościach Japończycy już w czasie II wojny światowej. Po zakończeniu wojny prace nad hełmami z włókien sztucznych podjęto w Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych. Hełmy takie są odporne na pociski uderzające z prędkością do 480 m/s, dają się lepiej kształtować i dopasowywać do kształtu głowy. Ponadto wewnętrzna ścianka hełmu nie odpryskuje przy uderzeniu pocisku, nie powodując zranień, zdarzających się przy hełmach stalowych.



Rys. 85. Hełmy kompozytowe: a) typu PASGT ze starym wyposażeniem wewnętrznym [88a], b) typu PASGT ze zmodyfikowanym wyposażeniem [83a], c) typu MICH TC 2000 [88a], d) typu ACH [83a], e) przykład prawidłowego użytkowania hełmu ACH, dzięki uprzejmości Operation Helmet

Przyspieszenie prac nad zastosowaniem nowych tworzyw do produkcji hełmów nastąpiło w latach 70. XX wieku, w czasie wojny w Wietnamie. W oparciu o włókna aramidowe ośrodki badawcze armii amerykańskiej opracowały nowy model hełmu, który otrzymał oznaczenie PASGT (rysunek 85) [50]. Hełmy amerykańskie muszą spełniać normę MIL-STD-662E (odłamkoodporność) oraz NIJ 0106.01, NIJ 0108.01, NIJ 0101.04 (kuloodporność), tabela 31.

Hełmy te zostały przyjęte w roku 1980 jako standardowe wyposażenie wojsk lądowych w Stanach Zjednoczonych. Hełm PASGT zapewnia ochronę balistyczną: przed odłamkami amunicji fragmentującej (wartość parametru V50 co najmniej 610 m/s), przed pociskami w klasie III A (tabela 25). Występuje w 5 rozmiarach i jest przedstawicielem nowej generacji hełmów kompozytowych. Wykonany jest z 19 warstw Kevlaru®29, który stanowi 82% masy i 18% żywicy.

Tabela 31. Odporność balistyczna hełmów amerykańskich wg normy NIJ 0106.01

Klasa hełmu	Parametry testu			
	Amunicja testowa	Masa pocisku [·10 ⁻³ kg]	Długość lufy [·10 ⁻³ kg]	Prędkość pocisku [m/s]
I	.22 LRHV*	2,6	150-165	320 ^{±12}
	.38 Special RN*	10,2	150-165	259 ^{±15}
II-A	.357 Magnum JSP	10,2	100-120	381 ^{±15}
	9 mm FMJ	8,0	100-120	332 ^{±15}
II	.357 Magnum JSP	10,2	150-165	425 ^{±15}
	9 mm FMJ	8,0	100-120	358 ^{±15}

* pocisk z ołowianym rdzeniem

Hełmy klasy I powinny również zabezpieczyć użytkownika przed większością pocisków kalibru .25-.32 oraz pociskami śrutowymi kalibru 12 nr 4 z ołowianymi śrucinami. Hełmy klasy II-A i II powinny również zabezpieczać przed pociskami śrutowymi kalibru 12 nr 00 buckshot, .45 Auto.

Odporność na przebicie takiej osłony zależy od jej struktury, własności mechanicznych zastosowanych włókien i żywicy oraz technologii. Im włókna są bardziej wytrzymałe oraz im większa jest liczba warstw, tym większa jest odporność balistyczna przy określonej masie tkaniny. Hełm ten o masie całkowitej 1,3-1,6 kg, zależnie od rozmiarów, jest trochę tylko cięższy od dotychczas używanego stalowego hełmu amerykańskiego M 1 (rysunek 84). Zmniejszenie jego masy nie jest jednak zalecane z uwagi na energię współczesnych pocisków broni strzeleckiej, tak dużą, że przy mniejszej masie hełmu, nawet gdy nie dojdzie do przebicia czerepu, mogą ulec uszkodzeniu kręgi szyjne użytkownika. Masa współczesnego hełmu nie powinna być mniejsza od około 1,3 kg, gdyż musi on również przejmować energię pocisku w przypadku trafienia. Hełmy PASGT zostały na początku naszego wieku udoskonalone i zastąpione hełmami typu MICH (modular/integrated communications helmet) oraz ACH (advanced com-

bat helmet). Nowsze wersje hełmów wykonane są z włókien z Kevlaru®129 lub Kevlaru®KM2 i ważą około 10% mniej, lecz cena ich wynosi około 2000 PLN. Parametr V50 (określający przy jakiej prędkości tzw. symulatora odłamka o masie $1,1 \cdot 10^{-3}$ kg występuje 50% przebić) dla hełmów wykonanych z tych włókien przyjmuje wartość 686 m/s. Powierzchnia hełmów ACH jest o 8% mniejsza niż PASGT (zwiększono wycięcie nad oczami, co polepszyło widzialność i słyszalność) a ich kuloodporność wzrosła lecz pozostała w klasie III A. Nowy, bardziej ergonomiczny kształt hełmu typu MICH ułatwia równoczesne używanie broni, kamizelek kuloodpornych. Modernizacja tych hełmów polega głównie na zmianach konstrukcyjnych i technologicznych czerepu i wyposażenia wewnętrznego. Ma to na celu istotne zwiększenie: możliwości zainstalowania różnych urządzeń elektronicznych i optycznych, oraz komfortu użytkowania, a zwłaszcza stabilności zamocowania na głowie i większego bezpieczeństwa szczególnie przy długotrwałym użytkowaniu. Zwiększenie bezpieczeństwa hełmów polega też, co wykazała wojna w Iraku, na zastosowaniu rozwiązań zwiększających ich zdolność do absorbowania i rozpraszania energii uderzeń spowodowanych różnymi przyczynami np. wypadkiem samochodowym, wybuchem miny. Hełmy typu MICH wykonywane są w 2 wielkościach, lecz wyposażenie wewnętrzne zbudowane jest modułowo z 6, 7, lub 8 elementów. Elementy te mogą być dodawane, usuwane lub zmieniane zależnie od subiektywnych odczuć użytkownika, tak aby miał poczucie największego komfortu. Elementy złączne stosowane do mocowania wyposażenia wewnętrznego do czerepu mają taką samą jak on odporność balistyczną. Nowe hełmy muszą być używane zgodnie z instrukcją (TM 10-8470-204-10), gdyż dopiero wtedy zapewniają użytkownikowi właściwy poziom bezpieczeństwa.

Tabela 32. Odporność balistyczna hełmów wg polskiej normy PN-V-87001

Klasa hełmu	Odporność balistyczna [m/s]	Ugięcie [$\cdot 10^{-3}$ m]
A	$400 \leq V50 \leq 500$	$U_g \leq 20$
B	$500 < V50 \leq 600$	$U_g \leq 20$
C	$600 < V50 \leq 680$ lub 9 mm Parabellum FMJ*	$U_g \leq 20$ $U_g \leq 32$

* pocisk o masie $8 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości 345^{+15} m/s

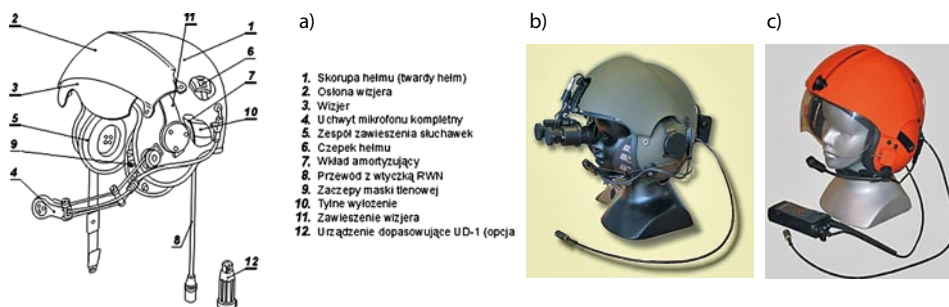
Polski hełm kompozytowy skonstruowano w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia w 2 połowie lat 80. Czerep tego hełmu (wz. 93) jest spłaszczony w górnej części i nieznacznie wyciągnięty do przodu w części czołowej, lecz nie ma wyraźnie zaznaczonego daszka. Głębokie nauszники oraz lekkie podcięcie na nakarczku, ułatwiają strzelanie w pozycji leżącej. Grubość ścianek czerepu wynosi około $8 \cdot 10^{-3}$ m, masa hełmu 1,4 kg. Odpowiednia technologia oraz zasto-

sowanie aramidowych preimpregnatów (Kevlar® HT i Twaron® CT) pozwoliły na uzyskanie wysokich wartości parametrów ochrony balistycznej. Hełmy używane w Polsce powinny spełniać wymagania normy PN-V-87001, tabela 32.

Wartość parametru V50 wynosi dla hełmu wz. 93 – 620 m/s. Hełmy są odporne na przebicie odłamkami ręcznego granatu z odległości 2 m. Posiadają odporność na przebicie pociskami pistoletowymi kalibru 7,62×25 mm (z miękkim rdzeniem) wystrzeliwanymi z prędkością 420 m/s, oraz 9×19 mm (z miękkim rdzeniem) z broni maszynowej z prędkością 380 m/s. Hełm pozwala na równoczesne używanie indywidualnych środków łączności i okularów noktowizyjnych. Hełm, firmy WSO „Resal – Helmet” typu RSL-12, wykonany jest również z kompozytów aramidowych. Produkowany jest w 3 rozmiarach o masie 1,25-1,50 kg. Odporność obu tych hełmów na przebicie pociskami pistoletowymi oraz wartości parametru V50 są zbliżone. Ugięcie czerepu hełmu spowodowane uderzeniem odłamka standardowego wynosi do $20 \cdot 10^{-3}$ m. Hełm ma trójpunktową uprzęż mocującą wyposażoną w zapinkę zatraskową z funkcją wypinania bezpiecznikowego oraz istnieje możliwość zamocowania kuloodpornej osłony twarzy.

Hełm tej samej firmy przeznaczony dla policjantów – chroni głowę przed uderzeniami i przenikaniem kwasów i zasad. Wartość parametru V50 wynosi 450 m/s. Posiada odporność na przebicie pociskami pistoletowymi 9×19 mm FMJ o masie $8 \cdot 10^{-3}$ kg i prędkości uderzenia 360 m/s. Wkład wewnętrzny wykonano z polistyrenu oraz pianki poliuretanowej. Osłona twarzy wykonana jest z poliwęglanu o grubości $4 \cdot 10^{-3}$ m, a osłona karku z naturalnej skóry oraz wkładki amortyzującej. Całkowita masa hełmu wynosi 1,9 kg.

Hełmy przeznaczone dla lotników mają trochę mniejszą odporność balistyczną (wykonywane są głównie z włókien szklanych) lecz wyposażone są w specjalistyczne urządzenia optyczne i radiofoniczne (rysunek 86). Umożliwiają one również amortyzację uderzeń o energii kinetycznej do 120 J.



Rys. 86. Hełmy lotnicze firmy FAS z Bielska B. a) schemat budowy hełmu THL-5 NV, b) zdjęcie hełmu THL-5 NV, c) zdjęcie hełmu THL-5 R, dzięki uprzejmości FAS Mariusz Ficoń, Bielsko Biała <http://www.fas.com.pl>

8. 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. 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
3. *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
4. Białczak B., *Amunicja strzelecka*, skrypty uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej, Nr 167, Kielce 1988
5. Bogusławski S., *Mała encyklopedia medycyny*, PWN, Warszawa 1990
6. Brodacki J., *Amunicja małokalibrowa*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983
7. Coupland R., *Clinical and legal significance of fragmentation of bullets in relation to size of wounds: retrospective analysis*, BMJ 1999;319:403-406, <http://bmj.bmjournals.com/cgi/content/full/319/7207/403>
8. Curtis L., *Introduction to collecting the 9 mm Parabellum (Luger) Cartridge*, Lew Curtis and International Ammunition Association Inc., <http://www.cartridgecollectors.org/intro9mm/>
9. *Die Ballistische Unterzieschutzweste*, 2001, www.bsstgmbh.de
10. Don Mikko, *US Military Green Bullet*, www.FirearmsID.com
11. 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), s. 627

12. *Emergency War Surgery*, Borden Institute Walter Reed Army Medical Center, Washington, DC 2004, wyd. 3, [www.brooksidepress.org/Products/Emergency%20War%20Surgery/Table of Contents.pdf](http://www.brooksidepress.org/Products/Emergency%20War%20Surgery/Table%20of%20Contents.pdf)
13. 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
14. Fackler M. L., *Wound Profiles*, *Wound Ballistic Review* 5(2): 25-38, 2001
15. 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 Jan.
16. Fackler M. L. i in., *Bullet fragmentation: a major cause of tissue disruption*, *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care* 24(1), 1984
17. 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): 522-529 1985 Jun.
18. *FBI ballistic test protocol*, <http://greent.com/40Page/general/fbitest.htm>
19. 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, ISBN 83-910318-3-7*
20. Furmanek W., Kijewski J., *Badania efektów oddziaływania wybranych pocisków strzeleckich na przegrody o różnych właściwościach fizycznych, rozprawa doktorska WAT 2006, Warszawa*
21. Gacek J., *Balistyka zewnętrzną*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 1999
22. *Gary's U.S. infantry weapons reference guide*, www.inetres.com/gp/military/riifle/762mm_amm0.htm
23. Gross A., Pohl J., Masełko J., *Obrażenia od postrzałów pociskami gumowymi z broni gładkolufowej*, http://www.kms.cm-uj.krakow.pl/ArchMedSadKrym/2000/2_2000/127_136.htm
24. Heaton L. D. i in., *Wound ballistics*, Medical department, United States Army, Washington 1962, <http://history.amedd.army.mil/booksdoc/wwii/woundblstcs/default.htm>
25. Hogg I. V., *Amunicja strzelecka, artyleryjska i granaty*, Bellona, Warszawa 2001,
26. Hogg P. J., *Composites for ballistic applications*, J. of Composites Processing, CPA, Bromsgrove U. K., 2003, <http://www.composites-proc-assoc.co.uk/view.php?pid=24>

27. Jussila Jorma, *Wound ballistic simulation: assessment of the legitimacy of law enforcement firearms ammunition by means of wound ballistic simulation*, Uniwersytet w Helsinkach, Finlandia 2005, praca doktorska
28. Kijak J., *Hełmy wojska polskiego 1917-2000*, Bellona, Warszawa 2004
29. Kochański S., *Wybrane zagadnienia z podstaw projektowania broni strzeleckiej*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986
30. Kochański S., *Automatyczna broń strzelecka*, SIGMA-NOT, Warszawa 1991
31. Kowalczyk A., Starek W., Lewandowski P., *Specjalny pocisk pistoletowy „M”*, Problemy Techniki Uzbrojenia Nr 1/2002(81), Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia
32. 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, n.9320, 25.05.2002, <http://www.mindfully.org/Health/2002/Rubber-Bullets-Israeli-Arab25may02.htm>
- 32a Linder K., *Dawne wojsko polskie w ilustracji*, Wydawnictwo MON, Warszawa 1955
33. 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/macdouJ&snctec.com
34. MacPherson Duncan, *Bullet penetration – Modeling the dynamics and the incapacitation resulting from wound trauma*, Ballistic Publications, El Segundo, California 1994
- 34a Müller H., Kunter F., *Europäische Helme*, Militärverlag der DDR, Erfurt, 1971
35. Nennstiel R., *How do bullets fly*, AFTE Journal, Vol. 28 No 2 April 1996, s. 104-143
36. Newgard K., *The physiological effects of handgun bullets; the mechanisms of wounding and incapacitation*, Wound Ballistics Review, 1(3):12-17, 1992
37. Newton Ch. D. i in., *Textbook of Small Animal Orthopedics*, J. B. Lippincott Company 1985, <http://cal.vet.upenn.edu/saortho/info/info.htm>
38. Nicholas N. C., Welsch J. R., *Ballistic Gelatin*, Applied Research Laboratory The Pennsylvania State University, 2004
39. Parks W. H., *Joint service combat shotgun program*, 1997, <http://ww.jagcnet.army.mil>
40. Prokosch E., *The Swiss draft Protocol on Small-Caliber Weapon Systems*, Bringing the dumdum ban (1899) up to date, International Review of the Red Cross No. 307: 411-425
41. Prokosch E., *The technology of killing; a military and political history of anti-personnel weapons*, Zed Books, London 1995

42. Radziszewski L., *O kalibracji przetworników do emisji akustycznej*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika 54, 1995 Kielce, s. 111-122
43. *Shotgun home defense ammunition*, www.firearmstactical.com/briefs10.htm
44. 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>
45. Szadkowski J., *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Kielce 2004, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, skrypt nr 407
46. Szyrkowiec A., *Wszystko o broni myśliwskiej*, Bellona, Warszawa 2001, wyd. 6
47. Święcki Z., *Bioceramika dla ortopedii*, IPPT PAN, Warszawa 1992
48. *Terminal ballistics*, <http://www.angelfire.com/art/enchanter/terminal.html>
49. Troy T. i in., *History and basic design of .223 and 5.56 ammunition*, 2004, wersja 3.3, <http://www.ammo-oracle.com/body.htm>
50. Trumble Ch.C. i in., *Blunt head injury protection for paratroopers*, U.S. Army Aeromedical Research Laboratory Report No. 2005-05, Fort Rucker 2005, <http://www.usaarl.army.mil/techreports/2005-05.pdf>
51. Urey W. P., *Handgun wounding factors and effectiveness*, FBI Academy – Firearms Tactical Institute, Quantico, Virginia USA, 1989
52. Uzar AI i in., *A new ballistic simulant „transparent gel candle”* (experimental study), *Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery* 9(2): 104-6, 2003 April
53. 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
54. Williams A. G., *The Story of the THV and Monad Bullets*, www.quarry.nildram.co.uk/THV.htm
55. Williams A. G., *Where next for PDWs?*, www.quarry.nildram.co.uk/
56. Wiśniewski A., *Pancerze-budowa, projektowanie i badanie*, WNT, Warszawa 2001
57. *Wound ballistics*, <http://www.geocities.com/Pentagon/Bunker/8996/s3opstx/slp/woundballistics.htm?20>
58. Włodarczyk E., *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej*, WAT, Warszawa 2006
59. Żygulski Z., *Broń w dawnej Polsce na tle uzbrojenia Europy i Bliskiego Wschodu*, PWN, Warszawa 1975

Strony internetowe:

60. <http://capefearww2.uncwil.edu/veWebDailyLife/exhibit4/e40003b.htm>
61. <http://pl.wikipedia.org>
62. <http://www.alslesslethal.com/12cat.htm>
63. <http://www.answers.com/topic/plastic-bullet>
64. http://www.arniesairsoft.co.uk/?filnavn=/reviews/m870/m870_review_mi.htm
65. <http://www.certops.com/certops/downloads/FN%20303%20ballistic%20testing.pdf>
66. <http://www.conjay.com/Security%20Products.htm>
67. http://www.cop-gmbh.de/shop_content.php?coID=24
68. <http://www.dfafrangible.com/f-home.html>
69. <http://www.d3lf.net/p90/ammo.htm>
70. <http://www.federalcartridge.com/default.asp?menu=1&s1=3&s2=1&sec=1>
71. <http://www.FirearmsID.com>
72. http://www.fnhusa.com/contents/1l_303.htm
73. <http://www.frfrogspad.com/miscelld.htm>
74. <http://www.giwera.pl/artykuly/2003/news15/amuguma.htm>
75. http://www.globalarms.net/topics/hp_emb/hp_emb0.htm
76. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/images/556rvol.gif>
77. <http://www.iccammo.com/ballistics.html>
78. <http://www.impactguns.com/store>
79. http://www.inetres.com/gp/military/infantry/rifle/556mm_ammo.html
80. <http://www.lubawa.com.pl>
81. <http://www.military-science.com/military-library/ballistics-ammunition.shtml>
82. http://www.mt.com.pl/artykul.php?co=num/09_02/brver.php
83. <http://www.municion.org>

- 83a <http://www.operation-helmet.org/helmets.html>
- 84. <http://www.reedsammo.com/contact.html>
- 85. <http://www.reloadbench.com>
- 86. http://www.remingtonmilitary.com/images/smallarms/870mcs_10.jpg
- 87. <http://www.resal.pl/>
- 87a. http://www.rycerze.org/rola_uzbrojenia/ryc10.htm
- 88. <http://www.saami.org/glossary/display>
- 88a. <http://www.specwargear.com/images/Helmet-PASGT-2.jpg>
- 89. <http://www.steyrscout.org/gelatin.htm>
- 90. http://www.swissmun.ch/e/security/security_text.htm
- 91. <http://www.tacticalshotgun.ca>
- 92. <http://www.thegunzone.com/30cal.html>
- 93. <http://www.thegunzone.com/556v223.html>
- 94. http://www.uprp.pl/wydawnictwa/wyd/bup_00/bup08_00/html/wzo08f.html
- 95. <http://www.winchester.com/lawenforcement/news/newsview.aspx?storyid=11>

