

BADANIA BALISTYKI ZEWNĘTRZNEJ WYSTRZELIWANYCH ELEMENTÓW NA PODSTAWIE WIZUALIZACJI WYBRANYCH FRAGMENTÓW TORU LOTU

Streszczenie: Wizualizacja przebiegu procesów badawczych poprzez dodatkowe określenie wybranych, rzeczywistych jego elementów w sposób znaczący zwiększa wiarygodność stosowanych metodyk i uzyskanych wyników badań. Dokumentowanie, archiwizowanie i odtwarzanie dynamicznych elementów badań balistycznych dotyczących m.in.:

- chwilowego położenia pocisków (odłamków) na wybranym odcinku toru balistycznego: w momencie wylotu z lufy (powylotowe działanie gazów), na torze oraz przy celu (np. przed i za badaną osłoną balistyczną);
- funkcjonowania zespołu pocisku (odłamka) na torze lotu m. in. odłączanie się sabotów od odłamka, koszyka –pojemnika od ładunku śrucin;
- wzajemnego oddziaływania pocisków i osłon balistycznych wraz z identyfikacją powstających wtórnych elementów rażących działających na inne nie chronione osłonami strefy;
- struktury grupowych elementów rażących w postaci ładunku śrucin na torze lotu,

może być niezwykle pomocne w osiągnięciu celów badawczych, konstrukcyjnych i eksploatacyjnych - zapewniających wysoką jakość sprzętu uzbrojenia.

EXTERNAL BALLISTICS ANALYSIS FOR SHOT ELEMENTS BASED ON VISUALIZATION OF CHOSEN TRAJECTORY PARTS

Abstract: Visualization of experiments through some selected characteristics describing their real parts is an important aspect that increases the credibility and accuracy of results. The process of documentation and reconstruction (including preparation of archives) for dynamic ballistic experiments usually concerns following phenomena:

- Position of bullets (the splinters) on chosen section of ballistic trajectory: in moment of leaving barrel, in transitory section (action of muzzle gases), on middle and terminal parts of trajectory including penetration of ballistic protection
- Functioning of bullet (the splinter) on track of flight e.g. straggling the sabots from core of splinter, the basket - the container from load the shots
- Mutual interaction of bullets and ballistic protecting screens together with identification of new secondary fragments acting against different not protected zones
- Grouped elements in form of shots.

1. Wstęp

Prowadzone przez Instytut w ostatnich latach liczne prace badawcze i konstrukcyjne związane z oceną skuteczności osłon balistycznych indywidualnych (kamizelki, hełmy, tarcze ochronne) i zespołowych (m.in. wozy bojowe) charakteryzują się głównie tym, że:

- proceduralne strzelania do próbek i gotowych wyrobów prowadzone są głównie z wykorzystaniem luf balistycznych lub broni zapewniającej powtarzalność i określoną wartość parametrów energetycznych pocisków (odłamków);
- liczba strzałów i miejsce uderzenia pocisków (odłamków) w badane osłony balistyczne są ściśle określone w istniejących dokumentach normatywnych (WT, PN, NO);
- badane osłony ocenia się głównie na podstawie statycznych wyników stanowiących skutki procesu oddziaływania wzajemnego osłona – pocisk (odłamek) stanowiących etap balistyki końcowej: przebicie osłony, brak przebicia, określenie głębokości ugięcia podłoża (za osłoną).

Powtarzalność parametrów energetycznych związana jest bezpośrednio nie tylko z prędkością pocisków (odłamków) charakteryzujących się zdefiniowanymi parametrami masowymi, gabarytowymi i strukturalnymi w momencie uderzenia w badaną osłonę balistyczną lecz również z powtarzalnością ich położenia przestrzennego w odniesieniu do powierzchni osłony balistycznej w punkcie uderzenia. Położenie przestrzenne pocisku (odłamka) w momencie uderzenia w osłonę balistyczną może być powtarzalne w sytuacji gdy przewody wewnętrzne luf balistycznych (broni) posiadają istotne parametry geometryczne wynikające z niewielkiego resursu użycia i mieszczące się w dopuszczalnych tolerancjach. Natomiast gdy w warunkach normalnej eksploatacji ww. sprzętu badawczego występuje nadmierne zużycie przewodów luf, co można kontrolować jedynie z wykorzystaniem amunicji wzorcowej poprzez pomiar prędkości, położenie przestrzenne miotanych pocisków (odłamków) może się zmieniać wg innych niezależnych od zmiany prędkości uwarunkowań. Wówczas wyniki badań osłon balistycznych (kuloodporność i odłamkoodporność) mogą być obarczone błędem, co może być źródłem niejednoznacznych ocen badanych osłon balistycznych. Dlatego wizualizacja położenia pocisku (odłamka) może być pomocna w możliwych do wystąpienia sytuacjach gdy ta sama próbka (osłona balistyczna) zachowuje się niejednoznacznie podczas badań.

Ponadto, ponieważ procesy te są wynikiem wysoce dynamicznych zjawisk powstających podczas współpracy pocisku (odłamka) z materiałem osłony i są one niedostrzegalne gołym okiem, dlatego w przypadku wizualizacji takiego procesu należy spodziewać się istnienia możliwości analizy rzeczywistego ich przebiegu, w tym:

- przestrzennego położenia pocisku (odłamka) w momencie styku z osłoną;
- defragmentacji pocisku i osłony zależnie od ich rodzaju;
- powstawania wtórnych elementów rażących (zarówno z osłony jak i z pocisku) zdolnych do oddziaływania na inne nie chronione strefy;
- skuteczności i efektywności zachowania się osłon przy wystąpieniu narażeń w innych strefach osłony niż proceduralnie wymaganych i stosowanych podczas badań.

Instytut wykonuje również liczne ekspertyzy techniczne związane z wydawaniem specjalistycznych opinii zleczanych przez Sądy krajowe. W wielu przypadkach są to opinie ostateczne i rozstrzygające, ponieważ są wykonywane w końcowej fazie rozpraw sądowych, które były prowadzone z wykorzystaniem opinii sporządzanych przez wyspecjalizowane Instytuty, Centralne i Wojewódzkie Laboratoria Kryminalistyczne Policji i powoływanych ekspertów sądowych. Opinie Instytutu z zakresu balistyki zewnętrznej wydawane są na podstawie wyników badań, gdzie materiałem wiążącym są wyniki badań uzyskane również drogą wizualizacji rzeczywistego przebiegu charakterystycznych zjawisk i następstw towarzyszących wystrzeliwanemu pociskowi lub grupie pocisków na ich torze lotu. Użycie metody wizualizacji przemieszczającej się wiązki śrucin na torze lotu, pozwoliło na jednoznaczne wykluczenie hipotezy o dwóch strzałach oddanych do ofiary znajdującej się w samochodzie za wiszącą

na drzwiach samochodu kurtką, która na podszewce posiadała dwie niezależne przestrzeleny – przy pojedynczej przestrzelenie na powierzchni zewnętrznej kurtki, od strony wlotu.

Wizualizacja wiązki śrucin na początkowym odcinku toru lotu pozwoliła na określenie odległości i sposobu oddzielania się ładunku śrucin od koszyka stanowiących wystrzeliwany ładunek śrucin. Oddzielający się od wystrzeliwanego ładunku śrucin plastikowy koszyk w odległości ok. 2,5m od wylotu z lufy mógł stanowić odrębny od rdzenia wiązki śrucin element rażący, który poruszał się własnym torem balistycznym. Ponadto charakterystyczne wycięcie materiału kurtki i podszewki, wraz z ich fragmentami umiejscowionymi na dennej powierzchni zewnętrznej koszyka, który wydobyto z ciała ofiary oraz wyniki analizy wizualizacyjnej toru lotu pozwoliły na wykazanie i udokumentowanie zmiany położenia koszyka na początkowym odcinku toru.

Uzyskane wyniki badań wizualizacyjnych w prowadzonych ekspertyzach stanowią również podstawę do przeprowadzenia natychmiastowych odpowiednich analiz i mogą być wykorzystywane do korekty przyjętych założeń badawczych zmierzających do określenia rzeczywistych warunków istniejących podczas analizowanego zdarzenia, szczególnie gdzie dane osobowe sugerują zupełnie odmienny ich przebieg, a rozstrzygnięcie sądu wywołuje wiele emocji.

Wszystkie uzyskane wyniki badań wizualizacyjnych prezentowane i opisane w mniejszej pracy były uzyskane za pomocą kamery do zdjęć szybkich typu Phantom v7.3 firmy Visio Research. Wybrane modele broni strzeleckiej i sprzętu badawczego używane podczas charakterystycznych badań i stanowiących materiał wykorzystany przy realizacji pracy stanowią bazę techniczną Laboratorium LBUSO WITU. Próbki i gotowe osłony balistyczne oraz amunicja używana podczas badań pochodzą z prac badawczych zleczanych przez użytkowników i producentów krajowych oraz dostarczane w ramach specyfikacji przetargowych.

Uzyskane wyniki pracy mogą być wykorzystane w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych i modernizacyjnych istniejących osłon balistycznych oraz mogą być przydatne w optymalizacji bezpieczeństwa badań. Wyniki pracy mogą stanowić przydatny materiał doświadczalny, który może być użyteczny w realizacji i planowaniu przyszłych badań sprzętu uzbrojenia, w tym również realizowanych na rzecz ekspertyz sądowych.

2. Wybrane wyniki badań wizualizacyjnych z wykorzystaniem szybkiej kamery cyfrowej Phantom V7.3.

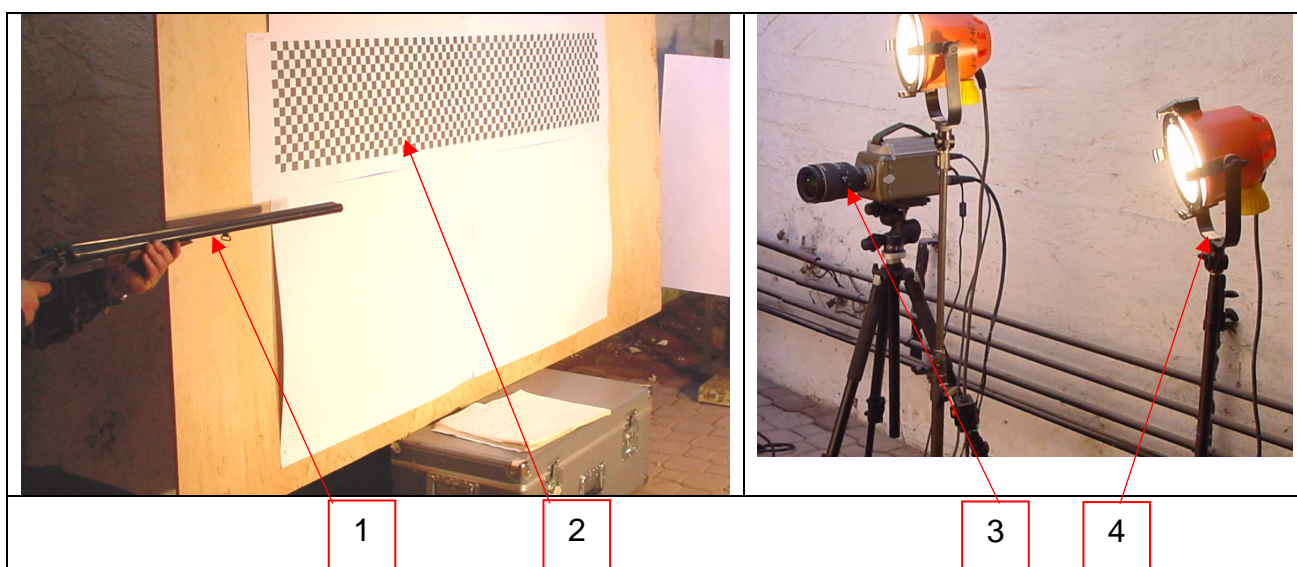
2.1 Badania wizualizacyjne początkowego odcinka toru balistycznego zespołu ładunku śrucin naboju kal. 12/70 wystrzelonego ze strzelby myśliwskiej w ramach ekspertyzy kryminalistycznej.

Badania wizualizacyjne początkowego odcinka toru balistycznego ładunku śrucin wystrzelonego ze strzelby myśliwskiej wykonano poprzez określenie zależności gabarytów wiązki śrucin i struktury ładunku na początkowym odcinku toru balistycznego dla broni myśliwskiej będącej przedmiotem przestępstwa kryminalnego. Badania prowadzono przy użyciu amunicji przedstawionej na rys. 1. Przedmiotem badań była amunicja śrutowa z ładunkiem śrucin o średnicy 4,25 mm umiejscowionym w koszyku i strzelba myśliwska kurkowa kal. 12/70.

Widok i elementy składowe badanego naboju przedstawiono na rys. 1, natomiast widok stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1.
 Naboje śrutowe kal.12/70 używane podczas badań wizualizacyjnych początkowego odcinka toru balistycznego: 1 –widok naboju; 2 –ładunek śrutu; 3 –koszyk; 4 –łuska po otwarciu zamknięcia gwiazdkowego, cechy na łusce: 0, Ø 4,25 mm, 32g; 5 –ładunek miotający (proch nitro-celulozowy, ziarno płaskie okrągłe)

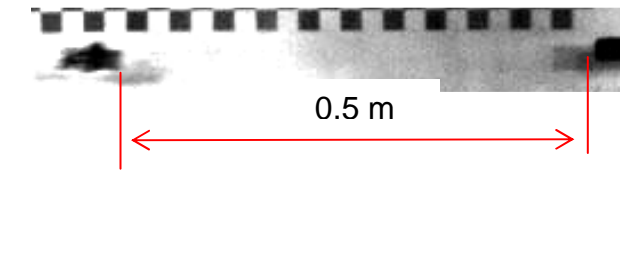

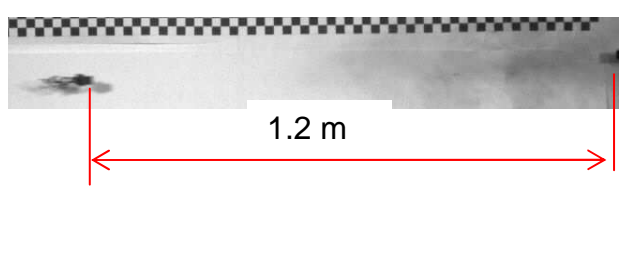
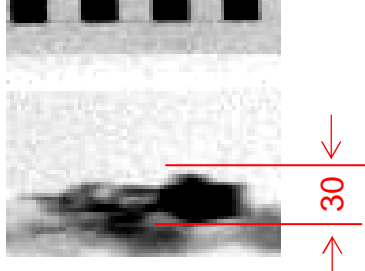
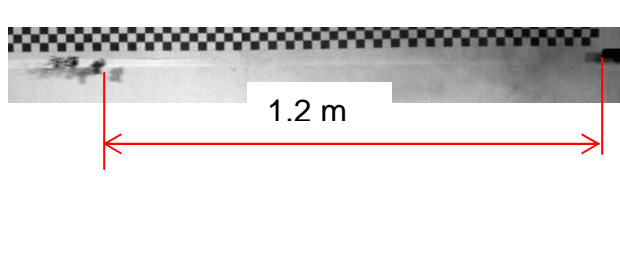
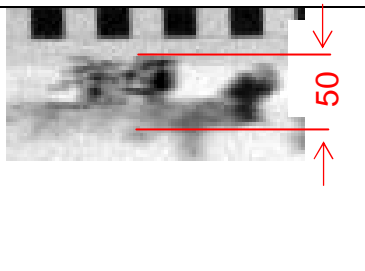
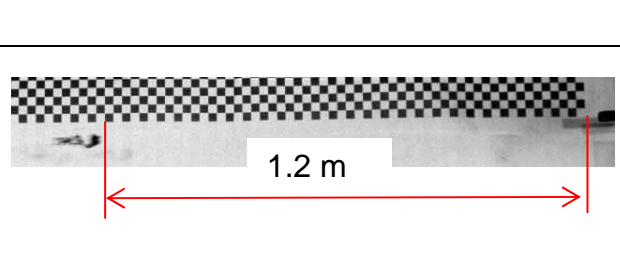
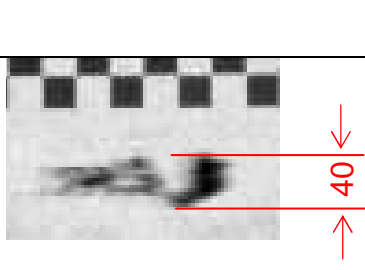
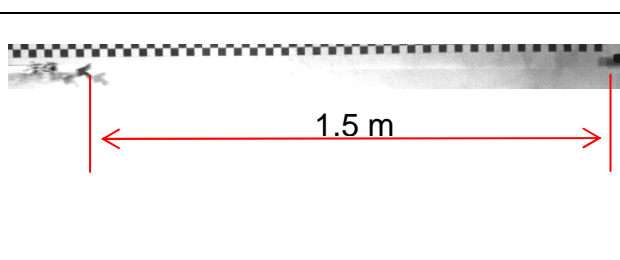
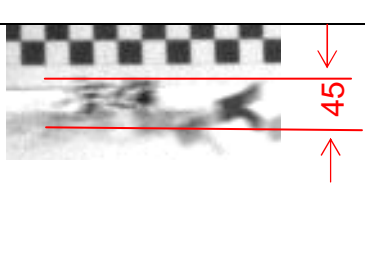
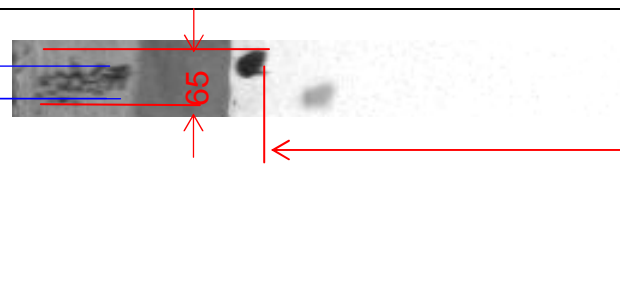
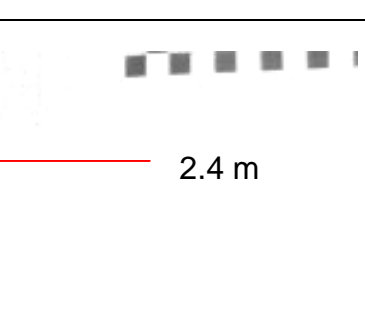


Rys. 2. Widok stanowiska badawczego, na którym wykonywano badania wizualizacyjne elementów ładunku rażącego naboju śrutowych wystrzelianych ze strzelby myśliwskiej kurkowej na początkowym odcinku toru lotu: 1 –strzelba kurkowa kal. 12/70; 2 –raster (szachownica) o wymiarach jednostkowych 20x20 mm; 3 -cyfrowa kamera Phanom V7.3; 4 -dodatkowe oświetlenie dużej mocy 2x2000W.

Podczas badań kamera była ustawiona prostopadle do kierunku strzelania w odległości zapewniającej obserwację początkowego odcinka toru lotu ładunku rażącego obejmującego wylot lufy „dowodowej dubeltówki”.

Analizę wyników badań wizualizacyjnych ładunku rażącego na początkowym odcinku toru lotu, w charakterystycznych odległościach od wylotu z lufy przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Widok ładunku rażącego na torze, odległość od wylotu lufy [m]	Analiza gabarytów ładunku rażącego [mm]	Opis
 <p>0.5 m</p>	 <p>30</p>	<p>nb. SAGA, lufa prawa –pół czok, 1 strz., rozchylenie cz. przedniej koszyka, śruciny wychodzą z koszyka</p>
 <p>1.2 m</p>	 <p>30</p>	<p>nb. SAGA, lufa lewa –pełny czok, 2 strz., rozchylenie cz. przedniej koszyka, śruciny wychodzą z koszyka</p>
 <p>1.2 m</p>	 <p>50</p>	<p>nb. RIO 20, lufa prawa –pół czok, 3 strz., koszyk za śrucinami z boku wiązki, odwrócony -cz. tylna skierowana do przodu, śruciny przed koszykiem</p>
 <p>1.2 m</p>	 <p>40</p>	<p>nb. RIO 20, lufa lewa –pełny czok, 5 strz., koszyk za śrucinami niewiele wysunięty w boku wiązki, nie odwrócony</p>
 <p>1.5 m</p>	 <p>45</p>	<p>nb. RIO 20, lufa prawa –pół czok, 3 strz., koszyk za śrucinami z boku wiązki, odwrócony -cz. tylna skierowana do przodu, śruciny przed koszykiem</p>
 <p>2.4 m</p>	 <p>65</p>	<p>nb. SAGA, lufa prawa –pół czok, 9 strz., koszyk powyżej snopowym. 75 mm i ok. 110 mm za snopem śrucin. Wysokość snopa śrucin ok. 40 mm</p>

40

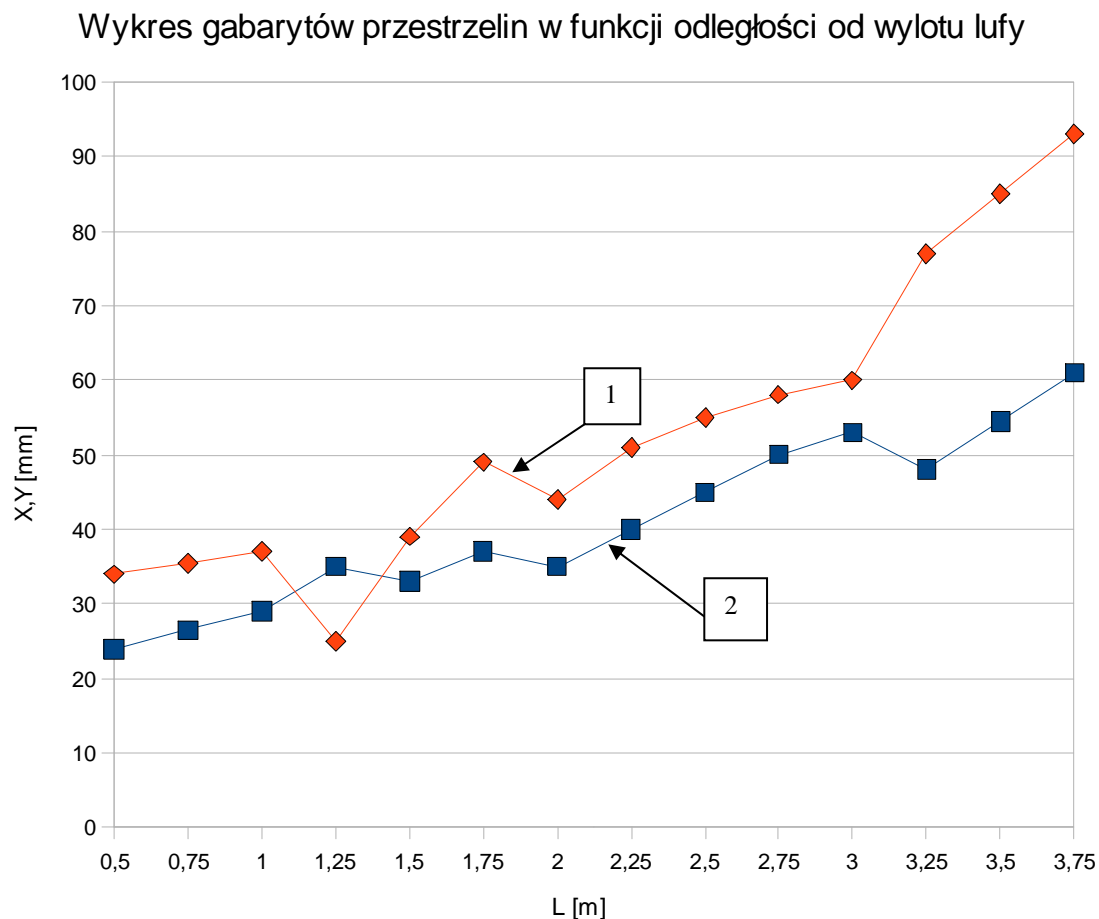
Uzyskane wyniki badań wizualizacyjnych początkowego odcinka toru lotu ładunku rażącego wykazały, że w odległości:

- 0,5 m od wylotu lufy prawej (pół czok) ładunek rażący naboju (śruciny \varnothing 4,25 mm i koszyk) poruszają się wspólnie, przy czym przednia część kosza zaczyna się rozchyłać, przez co powiększają się gabaryty (wysokość) ładunku rażącego do ok. 30 mm;
- 1,2 m od wylotu lufy lewej (pełny czok) ładunek rażący naboju zachowuje się podobnie jak przy strzale z lufy prawej (pół czok) w odległości 0,5 m od wylotu, wysokość ładunku rażącego ok. 30 mm;
- 1,2 m od wylotu lufy prawej (pół czok) ładunek rażący naboju (śruciny \varnothing 4,25 mm i koszyk) poruszają się oddzielnie. Koszyk z rozchyłoną na boki częścią przednią znajduje się w dolnej części ładunku, jest odwrócony wzdłuż swojej osi symetrii o ok. 135° – w płaszczyźnie rysunku, do przodu (tylna powierzchnia koszyka skierowana jest do przodu – oś symetrii koszyka jest odchyłona o 45° od kierunku lotu, w płaszczyźnie rysunku). Tak odwrócony koszyk przemieszcza się za ładunkiem śrucin w odległości ok. 40 mm. Wysokość gabarytu ładunku rażącego wynosi ok. 50 mm;
- 1,2 m od wylotu lufy lewej (pełny czok) ładunek rażący naboju (śruciny \varnothing 4,25 mm i koszyk) poruszają się również oddzielnie. Położenie koszyka jest podobne, bez możliwości identyfikacji kątów. Koszyk przemieszcza się za ładunkiem śrucin w odległości ok. 30 mm i w płaszczyźnie rysunku tworzy gabaryt ładunku (wysokość) ok. 40 mm;
- 1,5 m od wylotu lufy prawej (pół czok) ładunek rażący naboju (śruciny \varnothing 4,25 mm i koszyk) poruszają się oddzielnie. Koszyk z rozchyłoną na boki częścią przednią znajduje się nieznacznie w dolnej części ładunku, jest odwrócony wzdłuż swojej osi symetrii o ok. 180° (w płaszczyźnie rysunku) do przodu. Tylne powierzchnie koszyka skierowane jest do przodu – oś symetrii koszyka jest odchyłona o ok. 5° od kierunku lotu (w płaszczyźnie rysunku). Tak odwrócony koszyk przemieszcza się za ładunkiem śrucin w odległości ok. 50 mm. Wysokość gabarytu ładunku rażącego wynosi ok. 50 mm;
- 2,4 m od wylotu lufy prawej (pół czok) ładunek rażący naboju (śruciny \varnothing 4,25 mm i koszyk) poruszają się oddzielnie. Koszyk zajmuje położenie w przestrzeni bez możliwości identyfikacji kątów w płaszczyźnie rysunku. Koszyk przemieszcza się za ładunkiem śrucin w odległości ok. 140 mm i w płaszczyźnie rysunku tworzy gabaryt ładunku (wysokość) ok. 50 mm.

Ustalone w badaniach wyniki odnoszą się do broni i amunicji używanej podczas badań. Skupienie wiązki śrucin na torze lotu, w tym również na początkowym odcinku toru jest również zależne od broni i amunicji charakterystycznych tym, że:

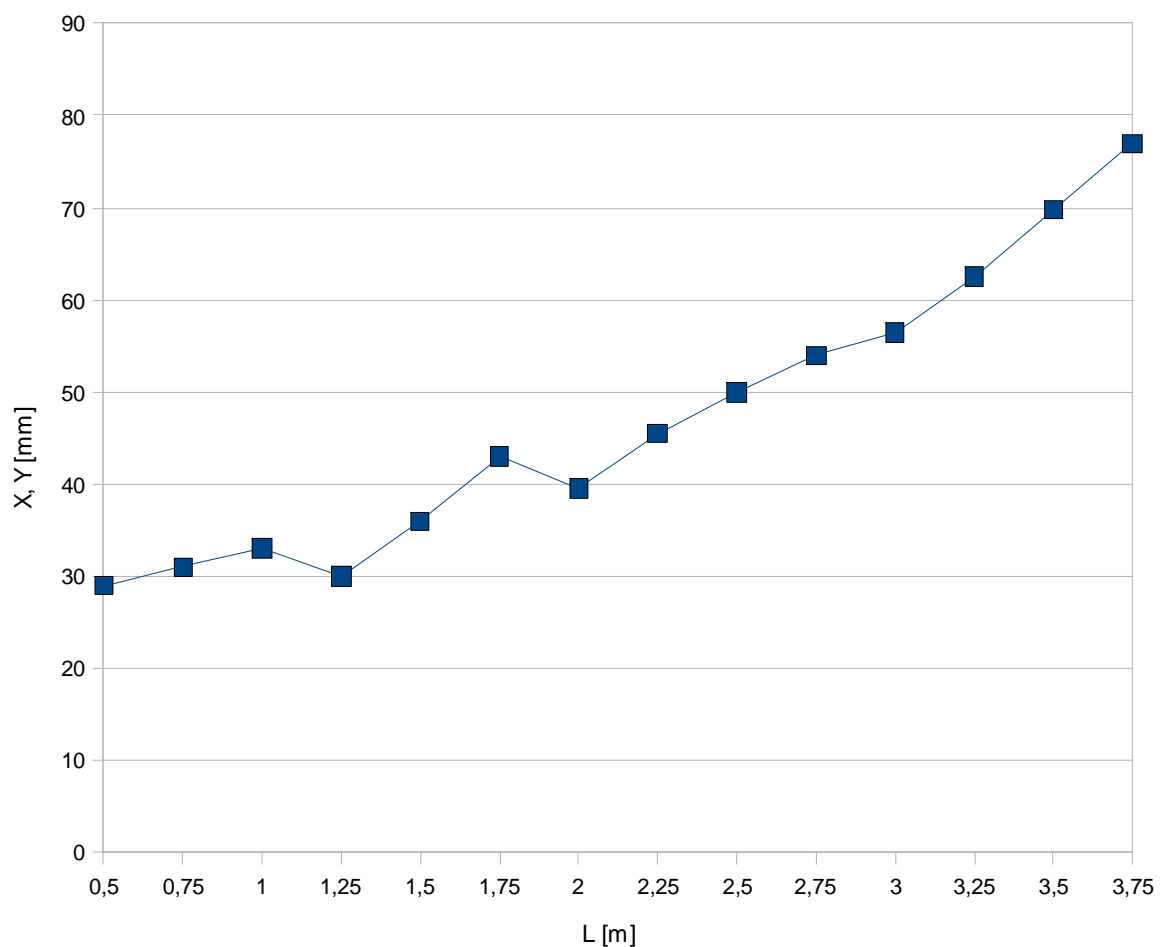
- badana dubeltówka posiada lufy o długości 720 mm;
- stopień zużycia luf, wżery, odkształcenia są charakterystyczne dla badanej dubeltówki;
- rodzaju czoku – zwężenie wylotowe, które jest przeznaczone do zacieśniania snopa śrucin na torze lotu w celu równomiernego rozkładu pola rażenia śrucin i zwiększenia skutecznego zasięgu charakteryzuje się tym, że prawa lufa „dowodowej dubeltówki” posiada „pół czok”, natomiast lewa lufa posiada „pełny czok”;
- rodzaju naboju śrutowego (numeru naboju), budowy ładunku rażącego, gdzie koszyk plastikowy powoduje mniejsze zaburzenia i zniekształcenia przemieszczającego się w lufie i na początkowym odcinku toru lotu snopa śrucin, wpływa na charakterystyki broni jak równomierność pokrycia.
- średnica śrucin 4,25 mm występująca dla badanych naboju wpływa w sposób znaczny na charakterystyki snopa śrucin na torze lotu.

Uzyskane wyniki badań wizualizacyjnych gabarytów wiązki w płaszczyźnie obserwacji kamery porównano z wynikami badań śladów przestrzeliny na tarczach papierowych rozstawionych w odległości od 0,5 m do 3,75 m od wylotu z lufy zobrazowanymi w postaci wykresów przedstawionych na rys. 3-5.



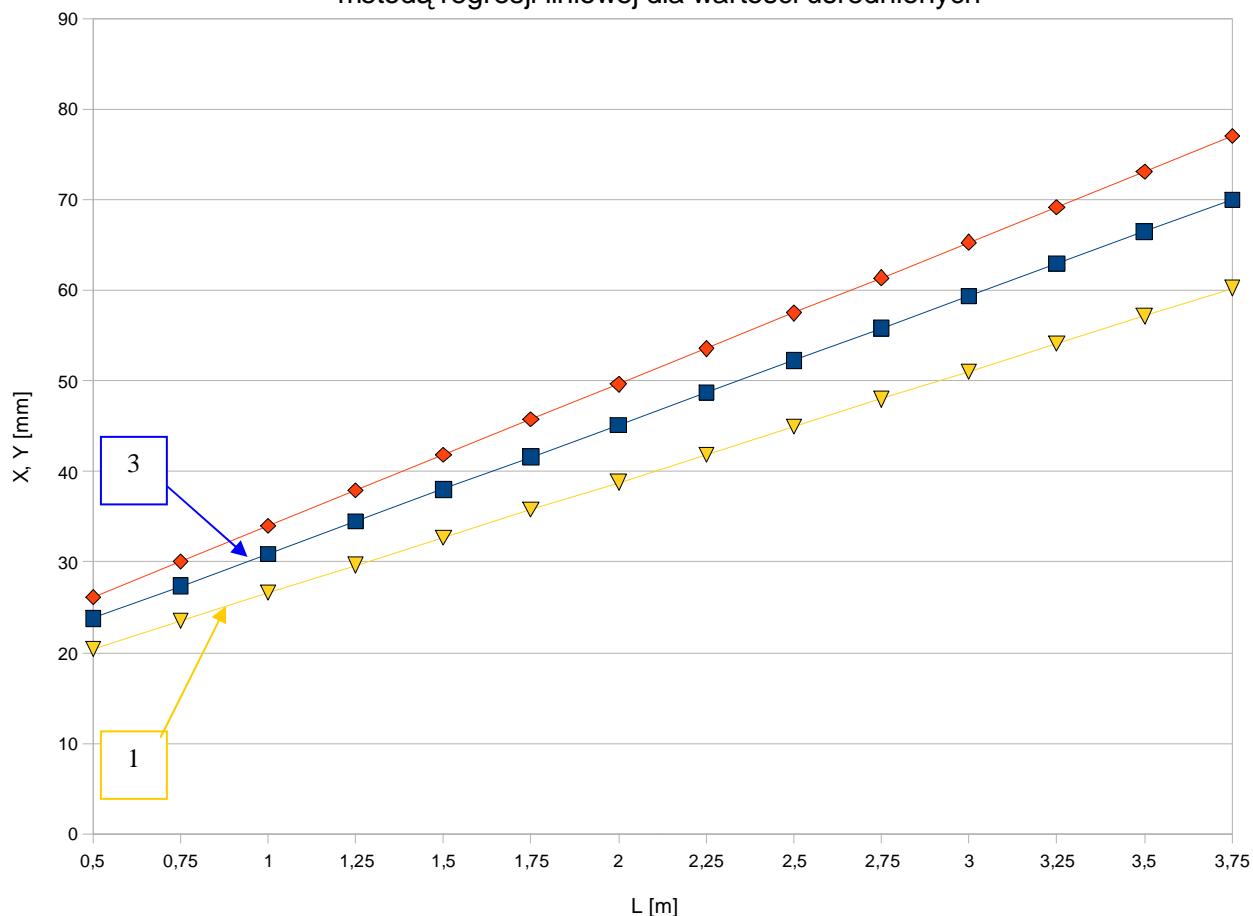
Rys. 3. Wykres gabarytów przestrzelin opracowany na podstawie wymiarów śladów przestrzelin na tarczach papierowych do którego odniesiono wyniki badań wizualizacyjnych: L - odległość od wylotu lufy; X – wysokość śladu przestrzeliny na tarczy [1]; Y - szerokość śladu przestrzeliny na tarczy [2]

Uśredniony przebieg gabarytów przestrzelin w funkcji odległości od wylotu lufy



Rys. 4. Wykres gabarytów przestrzelin na początkowym odcinku toru ładunku rażącego wykonany na podstawie uśrednionych wartości szerokości i wysokości przestrzelin określonych na papierowych tarczach rozstawionych co 0,25 m w odległości od 0,5 m do 3,75 m od wylotu lufy.

Wykres gabarytów przestrzelin w funkcji odległości od wylotu lufy opracowany metodą regresji liniowej dla wartości uśrednionych

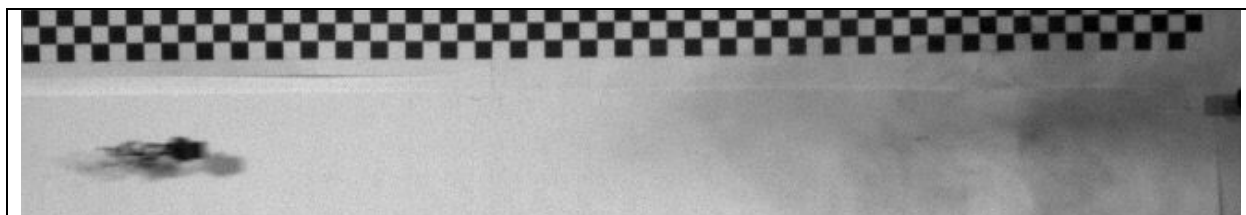


Rys. 5. Zestawienie wykresów zależności gabarytów przestrzelin na początkowym odcinku toru opracowane w celu określenia odległości strzału, do którego odniesiono wybrane wyniki badań wizualizacyjnych: 1 –naboje śrutowym (\varnothing śrucin 4,25 mm) z lufy lewej (pełny czok); 2 –naboje śrutowe 20 (\varnothing śrucin 4,25 mm) z lufy prawej (pół czok); 3 –naboje śrutowe (\varnothing śrucin 4,50 mm) z lufy prawej (pół czok).

Porównanie wyników badań wizualizacyjnych (z wykorzystaniem cyfrowej kamery do zdjęć szybkich) gabarytów wiązki śrucin na początkowym odcinku toru lotu – w odległości 1,2 m od wylotu lufy (Tabela 1) z wynikami badań śladów przebieg papierowych tarcz (rys. 3-5) wykazały, że:

- wizualizacja toru balistycznego zsp. ładunku śrucin w przyjętej płaszczyźnie (za pomocą jednej kamery) –obszar 2D, początkowego odcinka toru balistycznego w odległości do ok. 2,4 m od wylotu z lufy pozwala na określenia wysokości jądra wiązki śrucin oraz elementów składowych miotanego zespołu (koszyk i śruciny);
- porównanie wyników badań wizualizacyjnych –wysokość wiązki śrucin i elementów składowych miotanego zsp. ładunku (śruciny i koszyk) daje możliwość wiarygodnego oszacowania również szerokości wiązki. Bardziej wiarygodny wynik można osiągnąć poprzez wizualizację tego odcinka toru z wykorzystaniem dwóch kamer rozstawionych w dwóch płaszczyznach wizualizacji pod kątem 90° ;
- wykonane badania wizualizacyjne pozwoliły na wyodrębnienie toru balistycznego elementów składowych zsp. ładunku śrucin –koszyka wraz z określeniem jego położenia na poszczególnych odcinkach tego toru w stosunku do kierunku strzelania.

Zjawiska tego nie można jednoznacznie określić np. poprzez strzelanie do tarcz papierowych, które rejestrują jedynie zjawiska wtórne ślady w postaci śladów przebicia, bez możliwości wyodrębnienia elementów składowych zsp. ładunku.



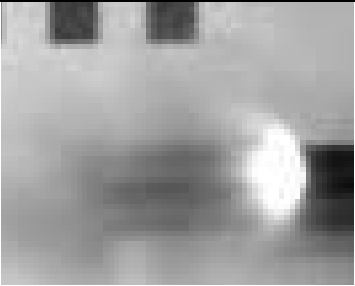
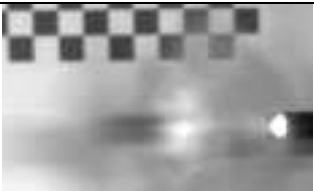
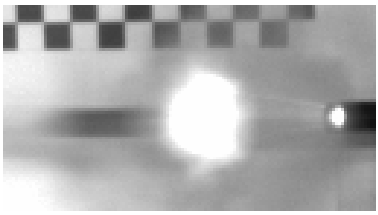
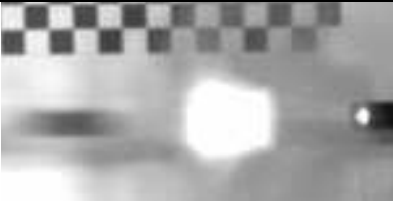
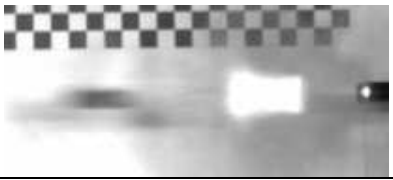
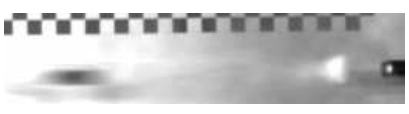
Rys. 6. Zobrazowanie wybranego wyniku badań wizualizacyjnych początkowego odcinka toru balistycznego (58x 20mm) zsp. ładunku śrucin wystrzelonych ze strzelby gładkolufowej kal. 12/70.

2.2. Badania wizualizacyjne i analiza zjawiska powylotowego oddziaływania gazów prochowych na wystrzelony ze strzelby gładkolufowej kal. 12/70 zespołu ładunku śrucin o średnicy 4,25 mm.

Poniżej przedstawiono zestawienie i analiza wyników badań wizualizacyjnych przebiegu zjawiska powylotowego oddziaływania gazów prochowych –produktów spalania ładunku miotającego na zsp. ładunku śrucin.

Tabela 2

	<p>Analiza charakterystycznych wyników badań wizualizacyjnych „powylotowego oddziaływania gazów prochowych (produktów spalania ładunku miotającego) na zsp. ładunku śrucin -moment wylotu zes. ładunku śrucin z lufy: 1-lufa; 2 –zsp. ładunku śrucin; 3 –raster 20x20mm. Miotany ładunek śrucin (2) umiejscowiony jest w poliuretanowym koszyku o długości 38 mm. Widoczne na przemian jasne i ciemne smugi na powierzchni bocznej wizualizują przepływ gazów przed zsp. ładunku przez 4 szczeliny rozdzielające symetrycznie rozstawione na obwodzie ścianki boczne koszyka wykonanego z polietylenu koloru białego.</p>
	<p>Analiza charakterystycznych wyników badań wizualizacyjnych „powylotowego oddziaływania gazów prochowych (produktów spalania ładunku miotającego) na zsp. ładunku śrucin -maksymalne oddziaływanie produktów spalania ładunku miotającego -prochu na zsp. ładunku śrucin: 1 –droga przebyta przez zsp. ładunku śrucin -18 cm; 2 -produkty spalania ładunku miotającego –prochu, widoczna zmiana kształtu czoła, na skutek zmniejszenia się ciśnienia wylotowego produktów spalania.</p>

	<p>-moment wylotu zes. ładunku śrucin z lufy, gazy wylotowe –produkty spalania ładunku miotającego „omywają powierzchnię zewnętrzną zsp. ładunku śrucin. Widoczne smugi (jasne i ciemne) rozmieszczone na przemian zgodnie z nacięciami w ściankach bocznych koszyka mieszczącego ładunek śrucin, baza czasu wylotowego 149 μ s.</p>
	<p>- obraz oddziaływania gazów po czasie ok. 299 μ s od wylotu zsp. ładunku śrucin z lufy, droga zsp. ok. 60 mm</p>
	<p>- uformowanie czoła fali uderzeniowej odbitej od tylnej powierzchni zsp. ładunku śrucin po czasie 448 μ s od wylotu zsp. ładunku śrucin z lufy</p>
	<p>- początek formowania – wydłużania się zarysu strukturalnej mieszaniny gazów wylotowych (produktów spalania ładunku miotającego „gruszki” po czasie 598 μ s</p>
	<p>-dalsze wydłużanie się zarysu strukturalnej mieszaniny gazów wylotowych (produktów spalania ładunku miotającego „gruszki” po czasie 747 μ s</p>
	<p>-zanik zarysu strukturalnej mieszaniny gazów wylotowych (produktów spalania ładunku miotającego „gruszki” po czasie 897 μ s (od czasu bazowego), co zgodnie z przyjętą w niniejszej pracy hipotezą, uznano za koniec oddziaływania gazów prochowych na miotany zsp. ładunku śrucin. W tym czasie zsp. ładunku śrucin zmienił położenie na torze o wartość 36 cm uzyskując prędkość 481m/s.</p>

Przedstawione w Tabeli 2 wyniki badań wizualizacyjnych uzyskano na podstawie analizy video filmu zapisanego w postaci cyfrowej z wykorzystaniem programu kamery cyfrowej Phantom V7.3.

Przedstawiona w Tabeli 2 analiza poklatkowych obrazów stanowiących wyniki badań wizualizacyjnych zjawiska wylotu zsp. ładunku śrucin z lufy w postaci video filmu wykazała, że kształt i zarys produktów spalania ładunku miotającego wydobywających się z lufy po wylocie zsp. ładunku śrucin zmienia się w sposób charakterystyczny. Wraz z oddalaniem się zsp. ładunku śrucin od wylotu lufy gazy prochowe tworzą bryłę o kształcie zbliżonym do

„gruszki”, który jest odwzorowany na poszczególnych kolejnych -poklatkowych obrazach. Odwzorowane zjawisko powstawania obrazu o kształcie zbliżonym do gruszki występujące w płaszczyźnie obserwacji, prostopadle do toru balistycznego. Po wylocie zsp. ładunku śrucin z lufy –czas bazowy ok. $149 \mu s$ [mikrosekund] na kolejnych obrazach uzyskanych z poszczególnych kolejnych klatek video filmu produkty spalania ładunku miotającego odwzorowują powstawanie jasnego obrazu o zmiennym w czasie kształcie przypominającym „gruszkę”. W czasie bazowym wynoszącym $598 \mu s$ zsp. ładunku śrucin (śruciny o średnicy 4,25 mm ze stopu ołowiu z antymonem) obraz produktów spalania wydobywających się z lufy jest zbliżony do „gruszki” z wyraźnie odwzorowanym czołem stanowiącym większą „średnicę gruszki”. Czoło „gruszki” widoczne na obrazie powstaje w wyniku koncentracji odbitych, wydobywających się z lufy gazów prochowych (produktów spalania) od tylnej płaskiej powierzchni zsp. ładunku śrucin. W strukturze wydobywających się z lufy gazów i gazów odbitych od dna miotanego zsp. ładunku śrucin na kolejnych poklatkowych obrazach widoczne jest kontrastowe czoło, które z uwagi na zmienny w czasie charakterystyczny kształt uzależnione jest od położenia oddalającego się od wylotu lufy miotanego ładunku śrucin. To kontrastowe czoło „gruszki” stanowi swoiste czoło fali uderzeniowej, która dodatkowo napędza opuszczając lufę zsp. ładunku śrucin.

Analiza wizualizacyjna tego zjawiska pozwoliła na postawienie tezy, że wydobywające się z lufy po wylocie ładunku śrucin produkty spalania –gazy prochowe, które posiadają większą prędkość od prędkości miotanego zsp. ładunku śrucin dodatkowo go napędzają do czasu zaniku na poklatkowych obrazach „czoła gruszki”. Struktura zaniku zobrazowanego kształtu w postaci „gruszki” zmienia się w ten sposób, że:

- po czasie ok. $449 \mu s$ (od czasu bazowego) kształt tylnej części „gruszki” wydłuża się w kierunku wylotu lufy, natomiast czoło zmniejsza średnicę;
- maksymalne wydłużenie tylnej części „gruszki” występuje po $598 \mu s$ (dla czasu bazowego wynoszącego $747 \mu s$). Uwidocznione jest czoło zarysu, co wynika z oddziaływania na dno zsp. ładunku śrucin;
- po czasie ok. $748 \mu s$ od czasu bazowego czoło „gruszki” zanika całkowicie.

Ponieważ obraz charakterystycznego kształtu i jego zmiana w czasie ok. $748 \mu s$ są ściśle związane z przemieszczaniem się zsp. ładunku śrucin, który pokonuje drogę ok. 36 cm, zgodnie z postawioną tezą przyjęto, że oddziaływanie napędzające powylotowych gazów na zsp. ładunku śrucin o średnicy 4,25 mm przebiega na drodze ok. 36 cm od wylotu z lufy.

Całkowity koniec oddziaływania napędzającego zsp. ładunku śrucin przez „powylotowe gazy” nastąpi po zrównaniu się ciśnienia tych gazów z ciśnieniem atmosferycznym. Ponieważ pomiar rozkładu ciśnienia wzdłuż toru nie jest wykonywany klasyczną metodą za pomocą czujnika określającego maksymalne ciśnienie wylotowe w normatywnie określonym miejscu względem wylotu lufy, metoda wizualizacyjna może być bardzo pomocna do określenia odcinka toru balistycznego, na którym miotane elementy są dodatkowo napędzane.

Ponieważ okres powylotowego oddziaływania produktów spalania ładunku miotającego –gazów prochowych ma istotny wpływ na parametry balistyczne toru lotu miotanych przy użyciu broni (strzeleckiej, artyleryjskiej i raketowej) elementów, w tym głównie na stabilizację na torze lotu i powtarzalność –stabilność torów dla poszczególnych strzałów, wizualizacja tego zjawiska może być wykorzystana do:

- badań diagnostycznych amunicji;
- ocen porównawczych cech konstrukcyjnych miotanych elementów (pocisków, odłamków);
- analiz badawczych występujących nietypowych zjawisk funkcjonowania amunicji, szczególnie na etapie prac konstrukcyjnych;
- ekspertyz technicznych dotyczących broni i amunicji.

2.3. Analiza wyników badań wizualizacyjnych w zakresie zmiany struktury miotanego zespołu ładunku śrucin na początkowym odcinku toru balistycznego.

Celem badań było określenie zmiany struktury zsp. ładunku śrucin miotanych ze strzelby gładkolufowej na początkowym odcinku toru lotu. Składający się ze śrucin o średnicy 4,25 mm umiejscowionych w polietylenowym koszyku miotany ładunek na początkowym odcinku toru balistycznego przemieszcza się wspólnie na nieznanym, początkowym odcinku toru balistycznego. Koszyk mieszczący śruciny spełnia dość znaczne zasadnicze funkcje związane z balistyką wewnętrzną, zewnętrzną i końcową –przycelną. W zakresie balistyki wewnętrznej powoduje jednorodne rozmieszczenie śrucin w naboju co może wpływać na powtarzalność dotyczącą gęstości ładowania naboju niezależną od warunków jego elaboracji. Do czasu wylotu z lufy koszyk koncentruje i prowadzi ładunek śrucin w przewodzie wewnętrznym lufy oraz po wylocie. Koncentracja śrucin szczególnie po wylocie z lufy poprawia skupienie i strukturę rozkładu śrucin, co wpływa na wydłużenie skuteczności strzału w zastosowaniach myśliwskich, poprzez zapewnienie równomiernego pokrycia celu i wzrost energii kinetycznej śrucin. Koszyk oddziela się na torze lotu od zsp. miotanego ładunku i ze względu na to, że posiada określoną masę i energię kinetyczną, na początkowym odcinku toru stanowi dość istotny element rażący. W wykonywanej ekspertyzie balistycznej dotyczącej użycia broni myśliwskiej w przestępstwie kryminalistycznym, przyjęto tezę, że koszyk na początkowym odcinku toru oddzielił się od ładunku śrucin i kontynuując lot spowodował powstanie dodatkowych śladów na ubiorze i na powierzchni ciała ofiary, co utrudniało określenie rzeczywistej odległości oddania strzału, zgodnie z postanowieniem Sądu. Zebrane podczas dochodzenia dane wskazywały na słuszność postawionej w wykonywanej ekspertyzie tezy, że charakterystyczne ślady na koszyku i na ubiorze mogły pochodzić na skutek oddziaływania tylnej powierzchni koszyka, który na początkowym odcinku toru mógł się odwrócić po odłączeniu się od zsp. ładunku śrucin. Określenie odległości, na której struktura ładunku śrucin zmienia swoją strukturę po oddzieleniu się od koszyka i określenie położenia koszyka na torze lotu było możliwe poprzez badania wizualizacyjne. Wyniki tych badań przedstawiono w Tabeli 1.

Charakterystyczne obrazy będące wynikiem analiz tych badań przedstawiono na rys. 11-12.



Rys.7. Widok zsp. ładunku śrucin na torze lotu w odległości 264 cm od wylotu z lufy. W tej odległości koszyk znajduje się za rdzeniem wiązki śrucin i jest odwrócony na torze lotu tylną powierzchnią do przodu. Brak możliwości obserwacji 3 D -w płaszczyźnie prostopadłej do przedstawionego obrazu uniemożliwia dokładne określenie procesu zmiany struktury zsp. ładunku śrucin.

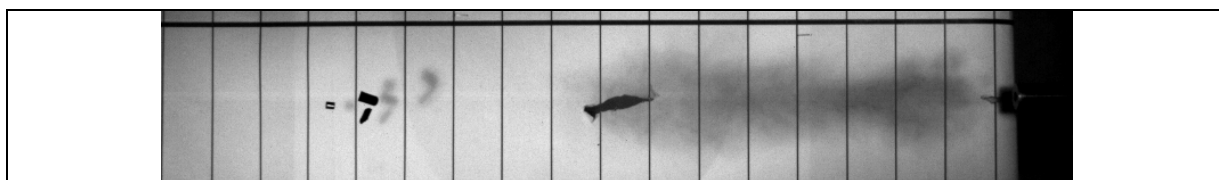


Rys.8. Widok zsp. ładunku śrucin na torze lotu w odległości ok. 350 cm od wylotu z lufy. W tej odległości koszyk znajduje się w odległości ok. 20cm za rdzeniem wiązki śrucin i zmienia swoje położenie wykonując obroty w kierunku poprzecznym do swojej osi podłużnej. Zastosowanie drugiej kamery w układzie 3D może zapewnić większą dokładność określenia rzeczywistego położenia poszczególnych składników zsp. ładunku śrucin na torze lotu.

2.4. Analiza badań wizualizacyjnych standardowego odłamka stosowanego podczas badań odłamkoodporności osłon balistycznych.

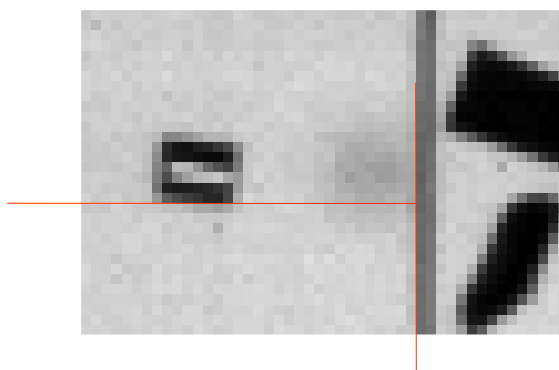
Analizowane wyniki badań pozwoliły na określenie odległości na balistycznym torze lotu odłamka, w której saboty (wykonane z tworzywa sztucznego dwie części obejmujące odłamek) oddzielają się od jego stalowego rdzenia. Ponieważ odłamek kontynuuje lot bez sabotów ewentualne zaburzenia procesy oddzielania się sabotów mogą zakłócić jego położenie w chwili uderzenia w osłonę. Brak powtarzalności takiego położenia odłamka oraz niestabilny lot na torze mogą utrudniać badania w zakresie doboru naważki ładunku miotającego – prochu przy wyznaczaniu granic odporności balistycznej [V_{50}], co wpływa na efektywność i koszty badań. Ponadto uzyskane wyniki badań tych samych osłon balistycznych mogą być obciążone znacznym błędem powodując niezasadny wzrost kosztów produkcji i obniżenie własności ergonomicznych stosowanych osłon balistycznych.

Przedstawiony na rys. 9 widok obrazujący odłamek i saboty rozłączone na torze lotu na tle rastra (pionowe linie oddalone od siebie o 20 mm pozwoliły jednoznacznie określić odległość od wylotu z lufy, na której nastąpiło całkowite oddzielenie się sabotów od odłamka. Odległość ta wynosi ok. 270 mm.



Rys. 9. Badania wizualizacyjne miotanego standardowego zsp. odłamka na początkowym odcinku toru lotu. Zobrazowanie odległości całkowitego oddzielenia się sabotów od rdzenia odłamka, która wynosi 270 mm od wylotu z lufy.

Jednoznaczne położenie odłamka na torze przy użyciu jednej kamery (w systemie 2D) nie jest możliwe, przy czym zobrazowanie położenia odłamka, przy założeniu, że pionowe linie rastra są prostopadłe do toru balistycznego z uwzględnieniem niezadowalającej ostrości obrazu pozwalają na stwierdzenie, że oś wzdłużna odłamka nie jest prostopadła do linii rastra. Jednoznaczne określenie położenia odłamka może być możliwe przy wizualizacji tego procesu dwoma kamerami (w systemie 3D).

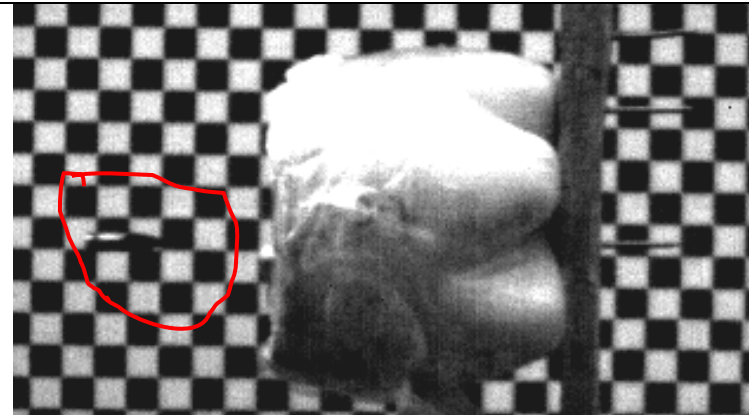

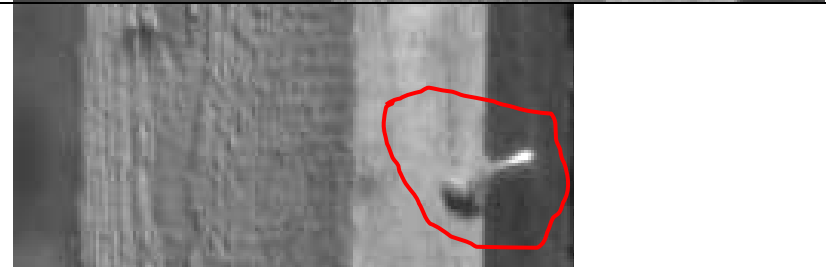


Rys. 10. Zobrazowanie wyników analizy wyników badań wizualizacyjnych położenia odłamka po oddzieleniu się od sabotów na torze lotu w odległości 270mm od wylotu z lufy.

2.5. Analiza badań elementów balistyki końcowej na podstawie wizualizacji niektórych wybranych wyników badań.

Badania kuloodporności osłon balistycznych ze względu na dużo większe odległości strzelania podczas badań, wynikające niejednokrotnie z wymagań normatywnych dotyczących zapewnienia określonej przycelnej energii kinetycznej pocisków w sposób szczególnie wymagają dbałości o monitorowanie położenia pocisku przed osłoną. Przyjęte dotychczas racjonalne sposoby monitorowania położenia pocisku przed osłoną poprzez stawianie dodatkowych ekranów tzw. świadków obrazujących geometrię śladów przebicia utrudniają prowadzenie badań i pogarszają ich bezpieczeństwo. Metoda wizualizacji położenia pocisku przed osłoną balistyczną przy wykorzystaniu jednej cyfrowej kamery -w systemie 2D może być bardzo pomocna w zakresie np. kwalifikowania –odrzućcia poszczególnych strzałów podczas badań.

Charakterystyczne położenia pocisku 5,56 mm zobrazowane w wyniku badań wizualizacyjnych przedstawiono na rys. 11-13.

	<p>Rys. 11. Widok pocisku kal. 5,56 mm przed próbką osłony balistycznej – w odległości 20 mm od powierzchni czołowej osłony. Tło – raster utrudnia identyfikację pocisku, szczególnie dla programu obliczeń analitycznych.</p>
	<p>Rys. 12. Widok pocisku kal. 5,56 mm przed osłoną w postaci deski sosnowej ustawionej pod kątem do toru pocisku</p>
	<p>Rys. 13. Widok pocisku kal. 5,56 mm po przebicciu osłony, widoczne „kociołkowanie” pocisku i deformacja płaszczka</p>

3. Wnioski

Uzyskane wyniki badań i analiz pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- 3.1. Metoda badań wizualizacyjnych przy wykorzystaniu cyfrowej kamery do zdjęć szybkich typu Phantom V7.3 daje możliwość zobrazowania dynamicznych zjawisk występujących podczas badań osłon balistycznych w zakresie wykraczającym poza proceduralne wymagania określone w Warunkach Technicznych i istniejących dokumentach normatywnych. Możliwość zobrazowania położenia wystrzeliwanych pocisków i odłamków w poszczególnych rzeczywistych odcinkach toru balistycznego zwiększa wiarygodność wyników badań i ocen osłon balistycznych.
- 3.2. Przeprowadzone badania wizualizacyjne początkowego odcinka toru miotanych zespołowych ładunków śrucin charakteryzujących się dużą liczbą elementów rażących i elementami funkcjonalnie wykorzystywanymi jedynie w lufie i po wylocie z lufy w okresie powylotowego działania gazów prochowych wykazały niezwykle użyteczność ze względu na:
 - możliwość określenia czasu i odległości od wylotu z lufy oddziaływania produktów spalania ładunku miotającego. Stosowana dotychczas metoda polegająca na pomiarze ciśnienia wylotowego np. metodą EPVAT pozwala na określenie ciśnienia w normatywnie określonym miejscu (25mm od wylotu z lufy), co nie pozwala na określenie drogi czasu oddziaływania na miotany pocisk (ładunek, odłamek). Metodą radiolokacyjną pozwalającą na pomiar prędkości pocisku w lufie oraz po wylocie z lufy na drodze do przestrzelenia lustra jest uciążliwa do powszechnego wykorzystania;
 - zastosowanie metody wizualizacji procesu powylotowego działania gazów prochowych pozwoliło na określenie czasu i drogi oddziaływania gazów wylotowych na zsp. ładunku śrucin o średnicy 4,25mm umiejscowionych w koszyku. Ładunek był wystrzelony ze strzelby gładkolufowej kal. 12/70. Czas trwania okresu powylotowego działania gazów prochowych wyniósł 748 μ s, natomiast długość odcinka toru balistycznego od wylotu ładunku śrucin z lufy wyniósł 360 mm. Obliczona dla ww. parametrów prędkość zsp. ładunku śrucin w odległości 360 mm od wylotu z lufy wynosi 481m/s.
- 3.3. Otrzymane wyniki badań i analiz mogą być wykorzystane w nowych pracach konstrukcyjnych sprzętu uzbrojenia i mogą uzasadniać konieczność i zasadność i zakres jego modernizacji. Ponadto mogą być przydatne do wspomagania istniejących metodyk badań w zakresie dokumentowania i archiwizacji wyników badań oraz przy optymalizacji bezpieczeństwa badań.

Literatura

- [1] W. Starek „Badania i analiza balistyki końcowej pocisków wystrzeliwanych z broni strzeleckiej na podstawie wizualizacji rzeczywistego przebiegu procesu penetracji wybranych osłon”, WITU 2009, Sprawozdanie WITU nr arch. 6547/C.
- [2] W. Stępnia, P. Sidelnik, B.Kozera „Metody badania zjawiska rykoszetowania amunicji, na przykładzie badań amunicji o ograniczonym rykoszetowaniu”, Biuletyn Naukowy WITU, PTU, Zeszyt 114, Nr 2/2010.