

Nowoczesne metody wizualizacji śladów wykorzystywanych w badaniach łusek i pocisków

kom. mgr inż. Robert Arciszewski¹

ORCID 0009-0004-7464-1430

¹ Laboratorium Kryminalistyczne Komendy Wojewódzkiej Policji w Gdańsku, robert.arciszewski@gd.policja.gov.pl

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie potencjału badawczego w zakresie wizualizacji śladów, jaki daje zastosowanie najnowocześniejszego sprzętu mikroskopii cyfrowej będącego na wyposażeniu Laboratoriów Kryminalistycznych Komend Wojewódzkich Policji. Przedstawione w artykule metody pozwalają na analizę śladów w sposób dający nowe możliwości w ekspertyzach kryminalistycznych z zakresu broni i balistyki, a tym samym mający znaczący wpływ na wnioskowanie o materiale dowodowym i przebiegu zdarzenia.

Słowa kluczowe: mikroskop cyfrowy, badania identyfikacyjne, wizualizacja śladów

Wraz z przyjęciem Polski do Unii Europejskiej i strefy Schengen do rąk strzelców sportowych, myśliwych i kolekcjonerów zaczęła napływać broń z całego świata. Nastąpiło otwarcie granic i swobodny przepływ towarów, co w znacznym stopniu ułatwiło również możliwości jej przemytu. Nie bez znaczenia we wzroście liczby egzemplarzy broni dostępnych na rynku były także zmiany w przepisach Ustawy o broni i amunicji z dnia 21 maja 1999 roku, które weszły w życie w 2011 roku, a dotyczyły dostępu do broni palnej i możliwości jej posiadania. Ta różnorodność typów, wzorów i kalibrów broni palnej wykorzystywana jest również do działań przestępczych dokonanych z jej użyciem, co z kolei powoduje, że identyfikacja wykorzystanego w działaniach przestępczych egzemplarza broni staje się coraz bardziej skomplikowana i czasochłonna. W badaniach kryminalistycznych łusek i pocisków kluczowym elementem jest ujawnienie śladów pozostawionych przez współpracującą z załadowaną amunicją elementy broni palnej i w dalszej kolejności zaobserwowanie i porównanie ich cech charakterystycznych. Identyfikacja polega na porównaniu cech śladów ujawnionych na łuskach lub pociskach zabezpieczonych na miejscu zdarzenia z cechami tych śladów odwzorowanych na elementach amunicji uzyskanych w ramach badań laboratoryjnych z przekazanego do tych badań egzemplarza broni palnej. Balistyka

natomiast to nauka o ruchu pocisku. Opisuje ona w sposób matematyczny wszelkie chemiczne i fizyczne zjawiska związane z poruszaniem się pocisku, od ich fazy początkowej, przez rozwój, do skutków. W zależności od stosowanych metod badawczych balistykę dzieli się na teoretyczną i doświadczalną. W toku prowadzonych badań, opierając się na tych zjawiskach, możemy ustalić miejsce oddania strzału, odległość, z jakiej go oddano, i wiele innych parametrów. W zakresie balistyki wyróżniamy: balistykę wewnętrzną – opisującą procesy zapłonu masy inicjującej, miotającej, powstawanie warunków nadających ruch pociskowi i poszczególne fazy jego ruchu w przewodzie lufy; balistykę przejściową – opisującą procesy zachodzące w momencie opuszczania przez pocisk wylotu lufy; balistykę zewnętrzną – zajmującą się torem lotu pocisku i balistykę końcową, która opisuje procesy zachodzące od momentu osiągnięcia celu przez pocisk, przez wnikanie w cel, zachowanie się w celu, aż do zatrzymania lub opuszczenia celu (Lampel/Mahrhold, 2006, s. 18).

Rozwój technologii

Wraz z rozwojem zaawansowanej technologii w zakresie optyki i rejestracji obrazu rozwijają się również metody jego cyfrowego przetwarzania, co daje nowe możliwości badawcze precyzyjnej analizy balistycznej oraz cech charakterystycznych śladów

kryminalistycznych. Oprogramowanie kamer mikroskopowych z funkcjami HDR (High Dynamic Range), czyli składanie zdjęć o różnej ekspozycji w obraz o dużej rozpiętości tonalnej, pozwala uniknąć prześwieblonych i niedoświetlonych obszarów. Focus stacking, czyli składanie stosu obrazów mikroskopowych zapisanych w osi „Z” w obraz o rozszerzonej głębi ostrości, to jedna z podstawowych funkcji niemożliwych do osiągnięcia w mikroskopii analogowej, która w znacznym stopniu wpływa na wprowadzenie nowej jakości w obserwacji i analizie mikroskopowej, natomiast generowanie obrazów 3D daje już zupełnie inny pogląd i szerokie możliwości w tym zakresie. Nowoczesne kamery cyfrowe wyposażone w sensory cechujące się bardzo wysoką czułością oraz niskim poziomem szumów oferują ogromny zakres dalszego przetwarzania obrazu, m.in. możliwość skorzystania z bogatych funkcji dodatkowych, takich jak funkcje umożliwiające wykonanie pomiarów liniowych w wysokiej rozdzielczości obserwowanego obrazu, przy automatycznym wykrywaniu krawędzi, jak również pomiarów głębokości obserwowanych struktur, a także szeregu innych pomiarów geometrycznych. Także analizowany obraz 3D śladu zawiera informacje umożliwiające pomiar w dowolnej pozycji, która pozwala na analizę rzeczywistego kształtu w każdym zakresie.

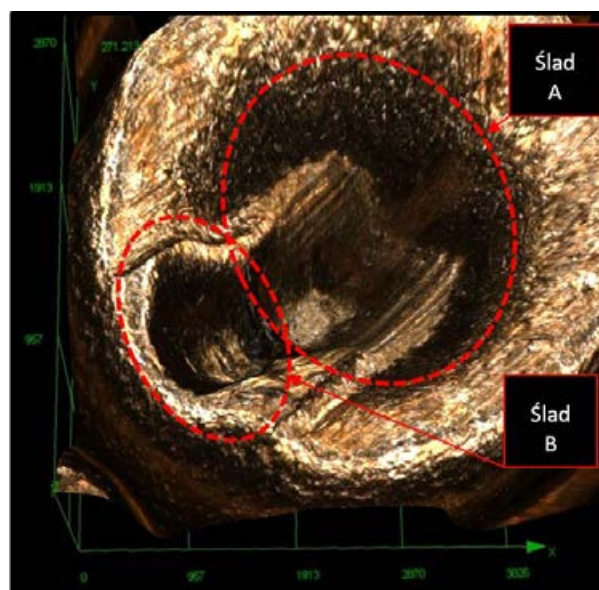
Badania śladów uderzenia grota iglicznego przy użyciu mikroskopu Olympus DSX110



Mikroskop optyczno-cyfrowy Olympus DSX110 w konfiguracji z polaryzacją, możliwością pomiarów

generowanych obrazów 2D, 3D oraz oświetleniem coaxialnym umożliwia zaobserwowanie i analizę obrazu spłonki naboju i odwzorowanych na niej śladów, w tym przypadku dwukrotnego uderzenia grota iglicy (Ślad A, Ślad B).

Cyfrowa obróbka obrazu wysokiej rozdzielczości, możliwości jego powiększania, obrotu w dowolnej konfiguracji i pomiarów umożliwiając ujawnienie takich cech charakterystycznych śladów grota iglicznego oraz ich wzajemnego „nakładania się”, które pozwalają wnioskować m.in. o kierunku, dynamice i kolejności ich powstawania, a następnie ustalić, który ślad jest śladem pierwotnym, a który powstał jako ślad wtórny, a w dalszej kolejności pozwalają na uwiarygodnienie wynikającej z zeznań świadków wersji kryminalistycznej zdarzenia.



Ryc. 1. Ślady dwukrotnego uderzenia iglicy odwzorowane na spłonce naboju

W przedstawionym powyżej przypadku badania pozwoliły na wnioskowanie:

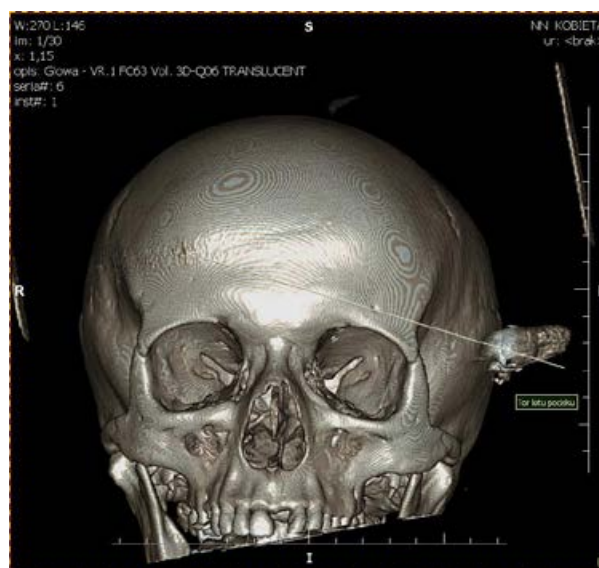
- do pierwszego naciśnięcia na język spustowy doszło w chwili, gdy pokrzywdzony pochwycił trzymany przez podejrzanego pistolet w taki sposób, że w wyniku tego chwytu doszło do częściowego odryglowania broni, a w konsekwencji – po naciśnięciu na język spustowy – do oddania strzału. Okazało się, że z dowodowego egzemplarza broni, pomimo posiadania bezpiecznika przed strzałem przedwczesnym, przy minimalnym obniżeniu komory nabojoywej taki strzał jest możliwy,
- z powodu blokowania zamka dłonią nie doszło do wyrzucenia łuski z komory nabojoywej, zamek cofnął się na odległość pozwalającą na napięcie

mechanizmu uderzeniowego, a po kolejnym naciśnięciu na język spustowy nastąpiło ponowne uderzenie grota iglicy w spłonkę naboju (centralny ślad uderzenia),

- mikroskop cyfrowy z funkcjami pomiaru umożliwia dodatkowo uzyskanie pomiaru głębokości poszczególnych uderzeń grota, przesunięcia jednego uderzenia względem drugiego, a więc pomiar przesunięcia komory naboju względem iglicy, i stanowi punkt wyjścia do dalszych badań eksperymentalnych możliwości oddania takiego strzału. Pozwala również na porównawcze obrazowanie najdrobniejszych nierówności powierzchni.

Analiza balistyczna przy wykorzystaniu uniwersalnej przeglądarki obrazów medycznych EXHIBEON 2.4.1.

Do wyznaczenia toru lotu pocisku i analizy przebiegu zdarzeń na miejscu użycia broni palnej można wykorzystać narzędzia uniwersalnej przeglądarki obrazów medycznych Exhibeon oraz „obraz badania tomografii głowy”. Specjalistyczne narzędzia udostępnione w oprogramowaniu przeglądarki pozwalają na przeprowadzenie szeregu pomiarów, w tym m.in. odległości pomiędzy punktami oraz kąta pomiędzy poprowadzonymi liniami pomocniczymi. Już w 2011 roku w pracowni badań broni i balistyki LK KWP w Gdańsku w analizowanym przypadku, przy wykorzystaniu analizy obrazu tomografu głowy, w połączeniu z analizą akt sprawy, prowadzone badania pozwoliły wnioskować, że do denatki oddany został jeden strzał. Wylot lufy broni znajdował się po lewej stronie jej głowy, za jej plecami. Tor lotu pocisku przebiegał pod kątem ok. 46° do płaszczyzny strzałkowej oraz pod kątem ok. 21° do płaszczyzny poziomej, od tylnej skroni lewej w kierunku bieguna czołowego prawego głowy, od dołu ku górze. Następnie pocisk odbił się od blaszki wewnętrznej



Ryc. 2. Analiza obrazów postrzałowych głowy z wykorzystaniem tomografii komputerowej

bieguna czołowego prawego kości czaszki pod kątem ok. 40° w płaszczyźnie poziomej, zmieniając tor lotu w kierunku przystrzałkowym. Tego typu analiza pozwala na wnioskowanie o wiarygodności przedstawionej przez świadka wersji zdarzenia wskazującej, że osoba w momencie strzału znajdowała się w pozycji stojącej, z nieznacznie pochyloną do przodu głową i zmywała w tym momencie naczynia (tj. ok. 21° do płaszczyzny poziomej). Wówczas wylot lufy dowodowego egzemplarza broni znajdował się na tej samej wysokości od podłoża co rana postrzałowa głowy. Osoba oddająca strzały trzymała broń w sposób typowy z uniesioną wyprostowaną ręką, a tor lotu pocisku przebiegał równoległe do podłoża, biorąc pod uwagę specyfikę miejsca zdarzenia, inne dane antropometryczne oraz rodzaj użytego egzemplarza broni. Obecnie przeglądarka Exhibeon dostępna jest w wersji 3 wprowadzającej wiele, jeszcze bardziej zaawansowanych narzędzi.



Ryc. 3. Analiza toru lotu pocisku z wykorzystaniem narzędzi przeglądarki „Exhibeon 2.4.1.”

Badanie ziaren prochu przy użyciu mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000

Wśród szerokiego wachlarza zaawansowanych narzędzi mikroskopu KEYENCE VHX-7000 na szczególną uwagę zasługuje funkcja automatycznego pomiaru obszaru i zliczania cząstek. Funkcja ta pozwala na wykonywanie analizy wielkości ziarna zgodnie z normami ASTM E1382 i DIN EN ISO 643. Okazuje się to bardzo przydatnym narzędziem w badaniu ziaren prochu dymnego (czarnego) pod kątem określania wielkości ziaren i zgodności uzyskanych wyników z gradacją ziarna wskazaną przez producenta substancji. Na rynku dostępna jest szeroka gama różnych gatunków prochu o różnej gradacji, najczęściej określanych za pomocą poniższego podziału.

Tab. 1. Katalogowa gradacja ziaren prochu dymnego (czarnego)

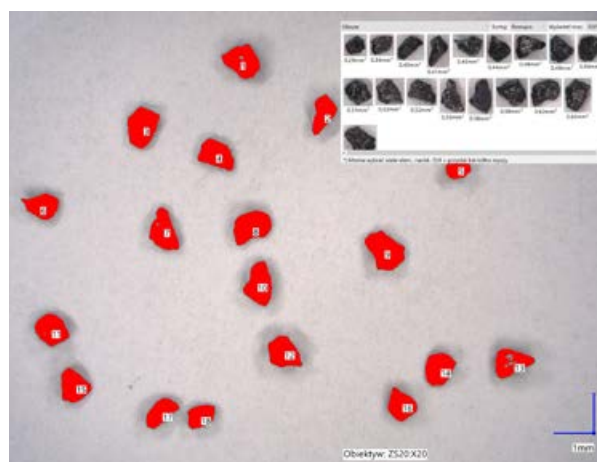
Symbol	Średnica ziaren [mm]	Symbol	Średnica ziaren [mm]
FG	1,190-1,680	1FG	1,2-1,6
FFG	0,590-1,190	1,5FG	0,85-1,2
FFFFG	0,297-0,840	2FG	0,65-1,2
FFFFG	0,149-0,420	3FG	0,5-0,8
		4FG	0,25-0,5
		0B	0,19-0,23

Pomiar obszaru i zliczanie ziarna można w prosty sposób wykonać w określonym dla próbki zakresie. Funkcja automatycznego wykrywania krawędzi pozwala wyeliminować rozbieżności wynikające z błędnego określenia krawędzi próbki. Kształt jest rozróżniany na podstawie wykrytych punktów przy użyciu metody najmniejszych kwadratów, co eliminuje błąd ludzki z czynności pomiarowych. Przy wykorzystaniu dostępnych narzędzi automatycznych możemy uzyskać wyniki pomiarów w rzucie 2D, takie jak zliczona liczba ziaren, ich wysokość oraz szerokość, jak również pole powierzchni ziarna.

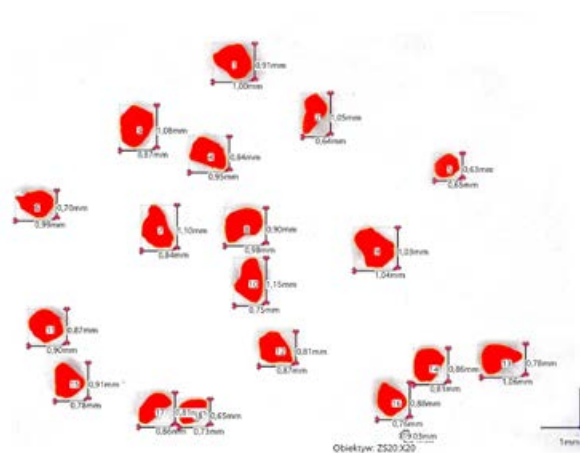


Tab. 2. Wyniki automatycznego pomiaru ziaren prochu

Tytuł	Dane wyników automatycznego pomiaru obszarów					
	Obszar	Jednostka	Obwód	Jednostka	Maksymalna średnica	Jednostka
Średnia	0,45	mm ²	2,78	mm	0,97	mm
Odchylenie standardowe	0,2	mm ²	0,97	mm	0,32	mm
Maks.	0,94	mm ²	5,5	mm	1,75	mm
Min.	0	mm ²	0,09	mm	0,03	mm
Razem	15,95	mm ²	97,27	mm	33,78	mm
Licz	35	mm ²				



Ryc. 4. Wyodrębnianie i zliczanie ziaren prochu



Ryc. 5. Pomiar wielkości ziaren prochu

Dostępne w aplikacji mikroskopu narzędzie przedstawi nam także w tabeli wyników wartości średnie uzyskanych pomiarów, które możemy porównać z danymi producenta, a to już pozwala wyciągnąć właściwe wnioski o zawartości opakowania i przybliżyć uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy dostarczony do badań proch dymny (czarny) posiada gradację wskazaną przez producenta na opakowaniu i został wykonany fabrycznie lub kierunkuje dalsze badania.

Jak wiemy, proch dymny jest mieszaniną saletry potasowej, siarki i węgla. Saletra (KNO_3) podczas reakcji wydziela tlen, który wspomaga spalanie węgla i siarki. Siarka łączy pozostałe składniki ze sobą, zmniejsza wrażliwość prochu na wilgoć, ułatwiając jego zapłon, także dzięki niższej temperaturze zapłonu. Skład procentowy najogólniej przedstawia się następująco:

KNO_3 75%, C 15%, S 10%.

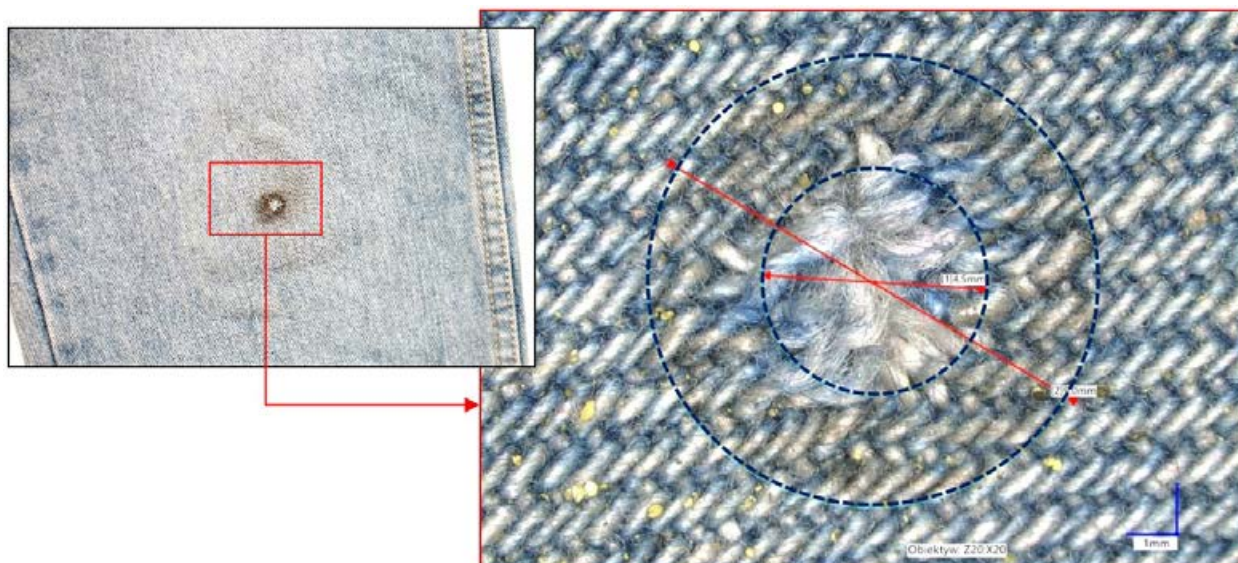
Ziarna fabrycznie wykonanego prochu dymnego są koloru szarego z matowym połyskiem, mają nieprawidłowy, gruzelkowaty kształt. W procesie produkcji podlegają prasowaniu do gęstości $1,7 \text{ g/cm}^3$ i odpowiedniej gradacji oraz polerowaniu, dzięki czemu ziarna wygładzają się, a substancja staje się bardziej odporna na wilgoć i rozkruszanie. W dalszej kolejności jest on grafitowany, co nadaje ziarnom połysk, zmniejsza wzajemne tarcie i ogranicza powstawanie niebezpiecznego pyłu prochowego, a tym samym podatność na niekontrolowany zapłon (Nowak, 2006, s. 13). Narzędzia obserwacyjne mikroskopii cyfrowej można wykorzystać do określenia typu prochu na podstawie obserwacji cech jego ziaren. Przeprowadzając ekspertyzę prochu dymnego, możemy zaobserwować kształt i kolor, a następnie przeprowadzić próby zapłonu i spalania oraz rozpuszczalności w wodzie,

gdzie z powodu łatwej rozpuszczalności azotanu potasu jego ziarna się rozpadają. W razie potrzeby należy w toku kolejnych badań określić również skład chemiczny.

Badanie uszkodzeń postrzałowych na odzieży przy użyciu mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000



Mikroskop optyczno-cyfrowy KEYENCE VHX-7000 w konfiguracji ze specjalną podstawą z wysięgnikiem umożliwiającą wygodną obserwację materiału badawczego oraz obiektywem umożliwiającą pracę w niewielkiej odległości roboczej głowicy od obserwowanego obiektu staje się bardzo wygodnym narzędziem do zaobserwowania i analizy obrazu uszkodzeń odzieży.



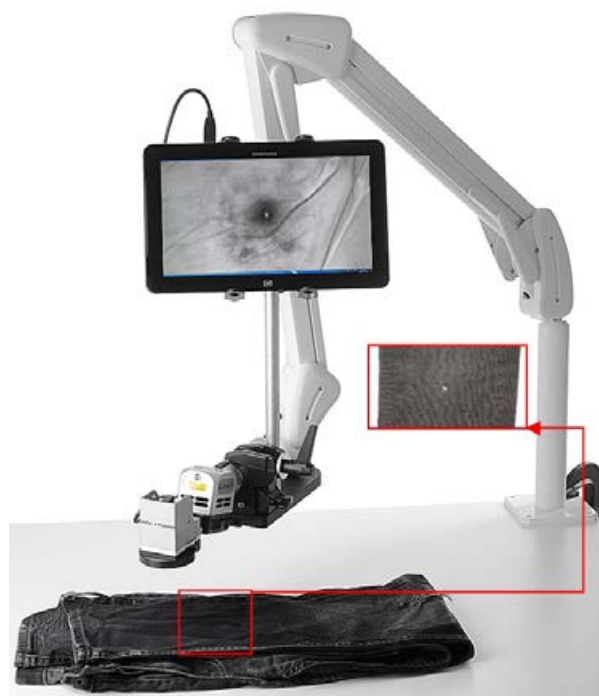
Ryc. 6. Analiza mikroskopowa uszkodzeń odzieży powstałych w wyniku postrzału z broni palnej

W kryminalistycznym badaniu uszkodzeń odzieży w wyniku strzału z broni palnej elementami istoty problemu jest określenie wymiarów uszkodzenia, kierunku ułożenia uszkodzonych zakończeń włókien tkaniny oraz oględziny pod kątem ujawnienia pozostałości powystrzałowych, a także termicznego działania zjawisk towarzyszących wystrzałowi z broni palnej lub ujawnienie ewentualnego rąbka zabrudzenia przy otworze wlotowym. Biorąc pod uwagę charakter uszkodzeń materiału badawczego, możemy wnioskować o rodzaju broni, jakiej użyto, o kierunku działania pocisku, jakim ładunkiem rażącym uszkodzenia zostały spowodowane, np. śrut, pocisk, jego kaliber itp. W ekspertyzie uszkodzeń powstałych na skutek działania broni palnej do strzałów z tzw. bliskiej odległości zalicza się te, w wyniku których na materiale przeszkody nie obserwuje się już mechanicznego działania gazów prochowych, jak w przypadku strzałów z przystawienia. W rezultacie dookoła otworu wlotowego można ujawnić ślady termicznego działania gazów prochowych, osadzenia się sadzy, niedopalonych ziaren prochu i ślady ich mechanicznego działania. Wielkość, intensywność i kształt odwzorowania tych czynników na przeszkodzie jest ściśle związana z odległością od wylotu lufy (Bogiel, 2021, s. 124). Gdy brak jest oznak bliskiego strzału, nazywamy go strzałem z dalszej odległości.

W zaobserwowanym przypadku wykorzystanie mikroskopii cyfrowej pozwoliło na szczegółową analizę uszkodzenia, w tym dokonanie precyzyjnych pomiarów, co z kolei pozwoliło wnioskować o powstaniu uszkodzenia w wyniku działania pocisku wystrzelonego z broni palnej kal. około 9 mm, a po wytypowaniu konkretnego egzemplarza i oddaniu strzałów porównawczych, na podstawie których uzyskano zbieżne efekty z rozkładem pozostałości powystrzałowych na materiale dowodowym, na określenie odległości strzału. Zaobserwowano termiczne działanie gazów prochowych na tkaninę, niedopalone ziarna prochu, obszar ich występowania oraz ich mechaniczne działanie, a także rąbek zabrudzenia na krawędziach uszkodzenia, którego końcówki włókien zostały odkształcone w kierunku działania pocisku. Z uwagi na elastyczność tkanin otwory wlotowe na odzieży z reguły są mniejsze od kalibru pocisku, a na rzeczywistą jego wartość wskazuje średnica zewnętrzna rąbka zabrudzenia (Kustanowicz, 1956, s. 277). Przysparza to wielu problemów we właściwym szacowaniu prawidłowego wyniku. Dzięki zastosowaniu mikroskopii cyfrowej z możliwością kontrastowania i wykonania pomiarów łatwo możemy wskazać precyzyjnie tą wartość jako w tym przypadku wynoszącą około 9 mm.

Badanie uszkodzeń postrzałowych na odzieży przy użyciu urządzenia CRIME-lite 82S

Asortyment urządzenia CRIME-lite 82S obejmuje m.in. oświetlacz podczerwieni IR, kamerę 5MP czułą na podczerwień przeznaczoną do wizualizacji i cyfrowego rejestrowania obrazu oraz tablet PC Panasonic FZ-G1. CRIME-lite 82S jest wszechstronnym narzędziem do kryminalistycznego badania zarówno na miejscu zdarzenia, jak i w laboratorium badawczym. Dzięki pełnemu spektrum dostępnych długości fal przeznaczony jest nie tylko do ujawnienia pozostałości powystrzałowych, lecz również w zakresie genetyki czy daktyloskopii.



Ryc. 7. Analiza uszkodzeń odzieży powstałych w wyniku postrzału z broni palnej w podczerwieni IR

Jeżeli na przedmiotach o jasnych kolorach pozostałości powystrzałowe, zwane osmalinami i zawierające przede wszystkim węgiel, są dobrze widoczne jako ciemnoszary osad, to na przedmiotach o ciemnych kolorach mogą być one już niezauważalne w świetle widzialnym. Spośród obecnie znanych metod ujawniania pozostałości po wystrzale z broni palnej na materiałach ciemnego koloru największe znaczenie ma metoda obserwacji w promieniach podczerwonych. Metoda ta opiera się na właściwościach nalotu pozostałości powystrzałowych na odzieży, zawierającego metale ciężkie, które pochłaniają promienie infraczerwone. W wyniku tego materiał odzieży tworzy na zdjęciu białe tło, a nalożony strzał – ciemną plamę. Urządzenie można więc wykorzystać do stwierdzenia obecności i charakteru rozmieszczenia osadu wokół otworu, co jak zobrazowano powyżej, już pozwala określić, które z uszkodzeń

to otwór wylotowy, a które ma charakter otworu wlotowego. Naświetlenie badanego materiału nie daje pożądanego efektu w przypadkach, gdy w skład barwników wchodzi również metale ciężkie, jak żelazo, miedź, cynk itp. (Kustanowicz, 1956, s. 261).

Podsumowanie

Rozwój technologii w zakresie rejestrowania obrazu, mikroskopii cyfrowej czy też radiologii pozwala na dalszą jego obróbkę, przetwarzanie, obserwację i analizę przy wykorzystaniu zaawansowanych narzędzi graficznych i pomiarowych. Narzędzia te w znacznym stopniu rozszerzają możliwości w zakresie identyfikacji śladów dzięki funkcjom cyfrowym wspomagającym ich obserwację, takim jak m.in. składanie zdjęć o różnej ekspozycji w obraz o dużej rozpiętości tonalnej, pozwalające uniknąć prześwietlonych i niedoświetlonych obszarów, czy składanie stosu obrazów mikroskopowych w obraz o rozszerzonej głębi ostrości. Wizualizacja 3D w wysokiej rozdzielczości z możliwościami cyfrowego powiększania, obrotu i pomiarów w dowolnej konfiguracji również pozwala ujawnić właściwości cech śladów, jakie wcześniej nie były możliwe do osiągnięcia. Ta cała paleta nowych rozwiązań w znacznym stopniu ułatwia i poszerza możliwości współczesnych badań kryminalistycznych, co wpływa na uniknięcie błędów w analizie i prawidłowym wnioskowaniu o materiale dowodowym. Przedstawione powyżej metody badawcze i przykłady zastosowania cyfrowych urządzeń rejestracji obrazu we współczesnej balistyce to tylko niewielki wycinek potencjału, jaki niesie za sobą rozwój technologii w badaniach śladów kryminalistycznych. Metody te mogą znaleźć zastosowanie w rozwiązywaniu

zarówno osobnych problemów, jak i złożonych zagadnień w wielu dziedzinach kryminalistyki.

Źródło rycin i tabel:

- opracowanie własne,
- katalog produktów: KEYENCE, OLYMPUS, FOSTER + FREEMAN

Bibliografia

1. Bogiel, G. (2021). *Vademecum kryminalistycznych badań broni*. Warszawa: Wydawnictwo CLKP.
2. *Digital Microscope DSX Solution*. OLYMPUS CORPORATION N8600136-032015.
3. Kustanowicz, S. (1956). *Badania broni palnej*. Warszawa: Zakład Kryminalistyki KGMO.
4. Kaczmarek, M. (1999). *Broń palna i ślady jej użycia*. Szkoła Policji w Pile.
5. Lampel/Mahrhold (2006). *Leksykon broni od A do Ż*. Warszawa: Muza.
6. *Metodyka badań broni i amunicji nr BJ-W-V-M-2*. Wydanie V z dnia 31.10.2022 r. Warszawa: Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji.
7. *Mikroskop cyfrowy. Seria VXX-7000*. KEYENCE CORPORATION 2022.
8. Nowak, G. (2006). *Strzelanie z broni odprzodowej*. Łódź: Galaktyka.
9. Ustawa o broni i amunicji z dnia 21 maja 1999 roku (Dz.U.2020.955 z późn. zm.).

Strony internetowe

1. <https://pixeltechnology.com/programy-medyczne/przeglądarka-dicom/>
2. <https://fosterfreeman.com/crime-lite-82s/>