

Badania chemiczne wczoraj i dziś - wybrane aspekty

podinsp. Barbara Łukasik
Naczelnik Wydziału Chemii
Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji

Kryminalistyka stanowi interdyscyplinarną dziedzinę nauki, której zasadniczym celem jest wykorzystanie wszelkich metod i technik mogących posłużyć do wykrywania oraz dowodzenia popełnienia przestępstw na potrzeby postępowania karnego. Jej rozwój od samego początku był ściśle związany z postępem nauk przyrodniczych i technicznych, a także z rosnącymi wymaganiami organów ścigania w zakresie skutecznej identyfikacji sprawców oraz rekonstrukcji przebiegu zdarzeń na podstawie śladów zabezpieczonych na miejscu zdarzenia. Ciągły oraz dynamiczny charakter zmian w tej dziedzinie wynika z nieustannego doskonalenia metod i technik badawczych, wdrażaniu nowych technologii oraz integracji wiedzy pochodzącej z wielu obszarów nauki.

Początki kryminalistyki, przypadające na przełom XIX i XX wieku, opierały się przede wszystkim na osiągnięciach medycyny sądowej oraz pierwszych próbach zastosowania metod naukowych w procesie wykrywania przestępstw. W tym okresie ukształtowały się podstawowe działy kryminalistyki, takie jak daktyloskopia, antropometria oraz fotografia sygnalityczna, które odegrały istotną rolę w identyfikacji osób oraz dokumentowania i analizie śladów.

W początkowej fazie rozwoju kryminalistyki stosowane metody bazowały głównie na obserwacji oraz doświadczeniu badaczy, a także na stosunkowo prostych technikach pomiarowych i rejestracyjnych. Wraz z postępem nauk przyrodniczych i technicznych następowało jednak stopniowe poszerzanie zakresu wykorzystywanych narzędzi badawczych. Coraz większe znaczenie zaczęły odgrywać techniki analityczne umożliwiające badanie śladów o niewielkich, często mikroskopijnych rozmiarach, które dostarczają wielu niezwykle cennych i istotnych, dla postępowania dowodowego, informacji.

Na przestrzeni kolejnych dekad kryminalistyka

przeszła głęboką transformację – od metod opartych głównie na obserwacji i doświadczeniu biegłych, do wysoko wyspecjalizowanych procedur analitycznych wykorzystujących zaawansowaną aparaturę badawczą. Doskonale można to dostrzec choćby na przykładzie badań chemicznych. Współczesne techniki, takie jak spektrometria, chromatografia czy mikroskopia elektronowa, pozwalają na niezwykle precyzyjną badania struktury materiałów, identyfikację składu chemicznego i pierwiastkowego. Postęp ten znacząco zwiększył wiarygodność i wartość dowodową badań kryminalistycznych, przyczyniając się do weryfikacji założonych wersji kryminalistycznych, bardziej trafnej rekonstrukcji zdarzeń przestępczych, a co za tym idzie dotarciu do prawdy.

Szczególną rolę w obszarze badań chemicznych odgrywają m.in. badania mikrośladów oraz materiałów wybuchowych. Mikroślady, czyli ślady niewidoczne lub słabo widoczne okiem nieuzbrojonym, takie jak cząstki metali i ich stopów, fragmenty szkła czy pojedyncze włókna, stanowią dowody dające możliwość połączenia sprawcy z miejscem zdarzenia lub ofiarą. Z kolei analiza materiałów wybuchowych, opierająca się na metodach identyfikacyjnych, pozwala na określenie rodzaju użytego ładunku, jego składu oraz sposobu inicjacji. Oba te obszary badań charakteryzują się wysokim stopniem złożoności oraz dużą wrażliwością na jakość stosowanych metod analitycznych.

Celem niniejszych artykułów jest przedstawienie rozwoju metod i technik badawczych wykorzystywanych w analizie mikrośladów oraz materiałów wybuchowych – od ich historycznych podstaw po współczesne rozwiązania technologiczne. Szczególną uwagę poświęcono zmianom w podejściu badawczym, wzrostowi precyzji analiz oraz roli nowoczesnej aparatury.

Mikroślady w badaniach kryminalistycznych kiedyś i dziś na przykładzie śladów metali i ich stopów oraz szkiele

podinsp. Anita Czerwińska
Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji
ORCID: 0009-0005-2434-8313
e-mail: clkpw6@policja.gov.pl

Streszczenie

Artykuł przedstawia ewolucję metod badania śladów metali i ich stopów oraz szkiele w polskiej kryminalistyce na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. Opisuje przejście od klasycznych, niszczących technik analitycznych do nowoczesnej analizy instrumentalnej, jak fluorescencja rentgenowska (XRF). Nowoczesne metody fizykochemiczne umożliwiają szybkie, precyzyjne i nieniszczące badania o wysokiej czułości, co zobrazowano przykładami z praktyki opiniodawczej w zakresie oceny autentyczności wyrobów jubilerskich i wykrywania fałszerstw.

Słowa kluczowe: mikroślady, metale i ich stopy, szkła, wyroby jubilerskie, analiza składu pierwiastkowego

Porównując analizy ciekawych spraw z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych minionego wieku przedstawianych przez ekspertów Zakładu Kryminalistyki KG MO oraz terazniejsze artykuły zamieszczane w „Problemach Kryminalistyki” na pierwszy plan wylania się obraz różnicowanego opisu materiału dowodowego nadesłanego do badań. W przeszłości były to opisy bardzo szczegółowe, z użyciem specjalistycznego słownictwa z danej dziedziny, z którą związany był określony przedmiot. Często wynikało to z faktu, że zlecający ekspertyzę domagali się badań kompleksowych i wnioskowali o ustalenie sposobu/techniki wykonania danego wyrobu jubilerskiego, monet, czy ustalenie rodzaju użytych form, sztańc i narzędzi. Wydanie takich opinii było możliwe przy współpracy z Urzędami Probierczymi, czy ekspertami z Muzeum Narodowego i Skarbcą Emisyjnego NBP. Obecnie opisy te są bardziej zwięzłe, często uzupełniane obszerną dokumentacją fotograficzną, a znaczną część opinii zajmuje opis wyspecjalizowanych metod instrumentalnych zastosowanych do badania danego śladu. Liczba metod jest znacznie większa, a same metody są

bardziej czułe, dokładniejsze, a badania nie mają charakteru niszczących.

Wcześniej, poza dokładnymi badaniami wstępnymi monety, ustalano jej ciężar właściwy i kolor metalu, z którego wykonana została oraz jej masę, średnicę i grubość. Następnie porównywano ze stabelaryzowanymi ciężarami i próbami najczęściej spotykanych oryginalnych złotych i srebrnych monet. Dane te w wielu przypadkach pozwalały wstępnie ustalić rodzaj metalu lub stopu, z którego wykonano fałszyfikat. Jeśli jednak fałszyfikat był bardziej skomplikowany wykorzystywano wówczas najczęściej spektrograf emisyjny PGS-2 (Ryc. 1 i 2), który służył do oznaczenia składu pierwiastkowego. Była to technika nieskomputeryzowana, czasochłonna, badania były niszczące, a niezbędna do analizy ilość próbki była rzędu miligramów. Zaletą była możliwość oznaczania pierwiastków śladowych [1].

Próbki umieszczane były w grafitowych elektrodach i spalane w łuku prądu stałego. Atomy pierwiastków badanej substancji pod wpływem wzbudzenia wysyłały promieniowanie, które po przejściu przez układ rozszczepiający tworzy-



Ryc. 1. Statyw spektrografu, w którym mocowane są elektrody (w tle generator UBI-1)

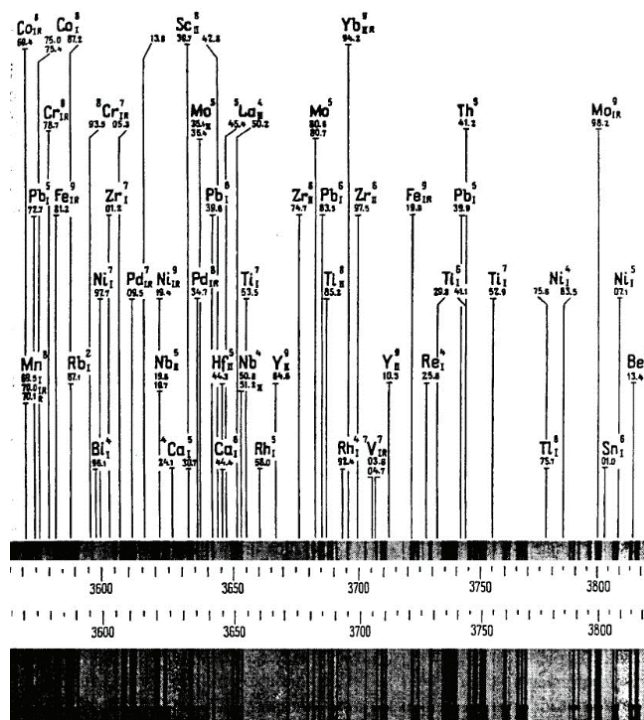


Ryc. 2. Spektrograf PGS-2 firmy Zeiss

ły widmo rejestrowane na umieszczonej w specjalnej kasce szklanej płycie pokrytej emulsją fotograficzną, która następnie poddawana była obróbce fotograficznej. Polegało to na wyjęciu płyty z kasety i zanurzeniu jej w kuwecie z wywoływaczem, a następnie z utrwalaczem; płukanie i suszenie, w pokoju bez dostępu światła, tzw. „ciemni”. Naświetloną płytę spektralną umieszczano się w spektroprojektorze, gdzie za pomocą powiększonego obrazu płyty, który wyświetlał się na stoliku, porównywano go z atlasem linii widmowych [2].



Ryc. 3. Spektroprojektor SP 2 firmy Zeiss (bez zewnętrznej osłony i kotar)



Ryc. 4. Fragment widma z atlasu linii widmowych (powyżej skal) porównany z fragmentem widma próbki (poniżej skal)

Obecnie obserwuje się wpływ spraw, w których przedmiotem badań są sztabki, wyglądem przypominające lokacyjne sztabki złota wyprodukowane w różnych mennicach na całym świecie (m. in. „ARGOR-HERA-EUS S.A.”, „PAMP”, „The Perth Mint Australia”). Bardzo dokładne wykonanie tych sztabek i konieczność umieszczania ich w opakowaniach z tworzywa sztucznego powoduje, że nie wzbudzają podejrzeń o fałszerstwo u nabywców.



Ryc. 5. Sztabka wyglądem przypominająca lokacyjną sztabkę złota wyprodukowaną w mennicy PAMP wraz z certyfikatem



Ryc. 6. Sztabka wyglądem przypominająca lokacyjną sztabkę złota wyprodukowaną w mennicy PAMP wraz z certyfikatem

Po szczegółowym opisie badań makro- i mikroskopowych tego typu śladów (masa, wymiary, opis ubytków bądź starć powierzchni sztabek, które trafiły w rozciętych wcześniej opakowaniach z certyfikatami) wykonuje się badania instrumentalne składu pierwiastkowego metodą mikrofluorescencyjnej analizy rentgenowskiej (μ XRF ED). Jest to metoda szybka i nieniszcząca.



Ryc. 7. Spektrometr μ -fluorescencji rentgenowskiej EAGLE II

Po badaniach często okazuje się, że są to sztabki wykonane ze stopu miedzi z niklem, pokrytego cienką warstwą złota, czyli ich skład pierwiastkowy nie odpowiada danym znajdującym się na ich powierzchniach i na certyfikatach, zgodnie z którymi powinny być wykonane z czystego złota.

Obecnie najnowszym urządzeniem do badania składu pierwiastkowego w Wydziale Badań Chemicznych jest spektrometr XRF SPECTRO XEPOS, który charakteryzuje się wysoką czułością, wprowadzającą trzykrotną poprawę precyzji pomiarowej. Stanowi to podstawę dla zapewnienia dokładności analiz w zakresie od śladowych do wysokich stężeń pierwiastków.

Metoda ta obecnie służy do badania wyrobów jubilerskich, które są zabezpieczane do spraw o oszustwa. Przestępstwo polega na doprowadzeniu do niekorzystnego rozporządzenia mieniem w celu osiągnięcia korzyści majątkowej przez wprowadzenie w błąd co do surowca, z którego wytworzono oferowaną do wymiany biżuterię.



Ryc. 8. Spektrometr fluorescencji rentgenowskiej XEPOS

Na podstawie ilościowych badań składu pierwiastkowego wyrobu jubilerskiego można szacować, jakiej próby jest dany wyrób. Wcześniej wykonywano w tym celu badania na kamieniu probierczym, w których wykorzystywano zależność koloru stopu od jego jakościowego i ilościowego składu stopowego.

Badania polegały na porównywaniu intensywności reakcji chemicznych, zachodzących pod wpływem działania cieczy probierczych na rysach. Analiza wykonana na kamieniu probierczym badanym przedmiotem oraz wzorcową iglicą probierczą o maksymalnie zbliżonej barwie stopu. Na oczyszczonej powierzchni kamienia probierczego wykonywało się „narysy” przedmiotem badanym i iglicami dobranymi pod względem koloru, o próbie wyższej i niższej niż podejrzewana próba badanego przedmiotu. Następnie na kamień



Ryc. 9. Zestaw do oznaczania prób wyrobów z metali szlachetnych

probierczy z „narysami” nanoszono za pomocą pręcika szklanego kroplę cieczy probierczej dedykowanej do zakresu podejrzewanej próby (np. dla złota próby 3 jest to roztwór chlorku złota (III), 18 g złota próby 0,999 w postaci chlorku złota (III), woda do objętości 1000 cm^3) i obserwowano przez 20 sekund przebieg reakcji. Następnie należało usunąć nadmiar cieczy i porównać intensywność, zabarwienie oraz ilość powstałego osadu. Jeśli obraz działania cieczy na „narysy” był taki sam świadczyło to o takiej samej zawartości metalu szlachetnego w stopie, jeżeli nie – należało powtórzyć procedurę z kolejnymi iglicami, aż do uzyskania takiego samego wyniku działania cieczy na „narysy” [3].

Badania mikroskopowe tego typu śladów odgrywają istotną rolę, zwłaszcza w obserwacji znaków probierczych oraz innych symboli umieszczanych na wyrobach. Znaki te są charakterystyczne dla poszczególnych wytwórców. Niewątpliwie postępujący rozwój mikroskopii i zaawansowane jej techniki mają wpływ na jakość prowadzonych badań. Ponadto dostępność fachowej literatury w Internecie ułatwia zaznajomienie się z tematem w danej dziedzinie. W przedmiotowej sprawie wyroby okazały się być wykonane ze stopu miedzi z cynkiem, czyli z mosiądzu, pokrytego cienką warstwą złota, a zgodnie z wybitymi znakami próby „585”, które nie zostały najprawdopodobniej naniesione przez Urząd Probierczy, wyroby te powinny zawierać przede wszystkim złoto, ponieważ znak próby „585” oznacza zawartość 58% złota w wyrobie. Ponadto na nadesłanej do badań biżuterii ujawniono wybite symbole „XP”. Ze źródeł internetowych wynika, że symbol XP jest znakiem chińskiego producenta biżuterii pozłacanej Xuping, wykonanej z miedzi i galwanicznie pokrywanej warstwą złota.

W badaniach śladów szkieł można poddawać ocenie coraz mniejsze drobiny szkieł dzięki rutynowemu wykorzystywaniu mikroskopu elektronowego do badań jakościowych i ilościowych składu pierwiastkowego metodą energodispersyjnej mikroanalizy rentgenowskiej (SEM/EDX).

W Wydziale Badań Chemicznych CLKP wykonuje się obecnie badania z wykorzystaniem zintegrowanego systemu analitycznego: skaningowy mikroskop elektronowy firmy *Tescan Mira 3* LMU sprzężony ze spektrometrem promieniowania rentgenowskiego z dyspersją energii X-Max^N typu SDD firmy *Oxford Instruments*, pakiet do obsługi detektora EDS Aztec ver. 2.4. Metodą tą można badać mikrookruszki szkieł o powierzchni mniejszej niż 0,2 mm². Jest to technika szybka, nieniszcząca i nie wymaga skomplikowanego przygotowania materiału do badań. Ślady o podobnym



Ryc. 10. Skaningowy mikroskop elektronowy

składzie pierwiastkowym przechodzą do dalszego etapu badań, jakim jest pomiar współczynnika załamania światła. Do pomiaru współczynnika załamania światła (RI) w szklach stosuje się metodę termoimmersyjną i system GRIM III firmy Foster&Freeman, w świetle monochromatycznym (590 nm) z wykorzystaniem standardów szkieł serii B i olejku immersyjnego typu B firmy Locke Scientific. Jest to najnowszy system, na którym pomiary dają wyniki z dokładnością do piątego miejsca po przecinku, a odchylenie standardowe wynosi 0,00002 w okresie pięciu godzin i 0,00003 w okresie pięciu dni. System może jednocześnie badać do czterech krawędzi jednego fragmentu, co bardzo wpływa na szybkość wykonywanych pomiarów, zapewniając lepszą dokładność statystyczną. Wyniki badań są archiwizowane i chronione hasłem, wraz z takimi informacjami, jak numer sprawy i tożsamość operatora. Generowane są też podstawowe dane statystyczne wyników, takie jak średnia, zakres, odchylenie standardowe. Oprogramowanie zawiera dwa algorytmy grupowania i dwie opcje testu dopasowania, dając badaczowi elastyczność w wyborze najbardziej odpowiedniego podejścia do wymagań jakościowych laboratorium. Wyniki można wyświetlić w postaci diagramów i sformatować w celu eksportu do pakietu Microsoft Office w celu dalszej analizy.

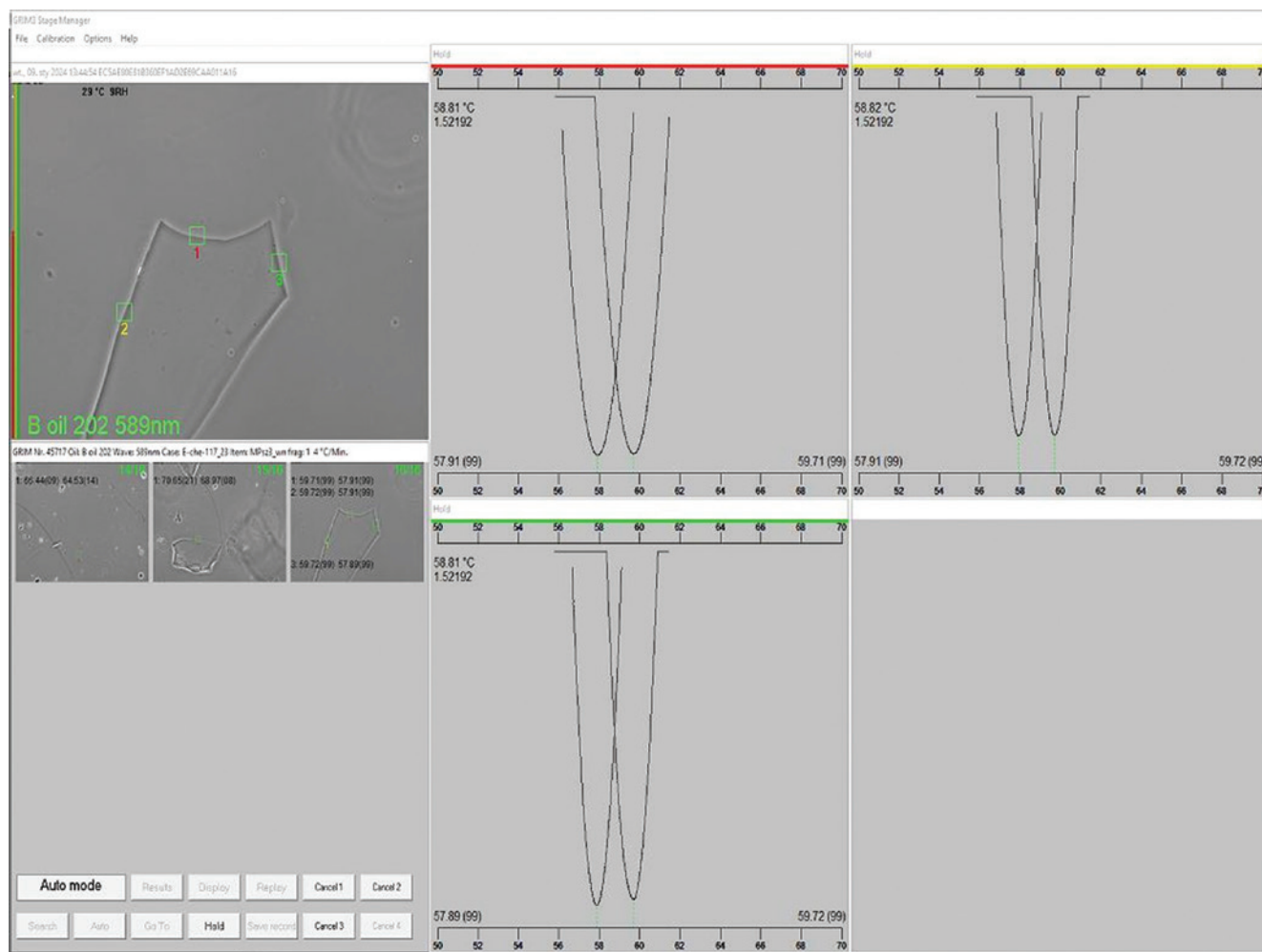
W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku również stosowano bezwzględna metodę termoimmersyjną do badań porównawczych szkieł, która opracowana została w Zakładzie Kryminalistyki Komendy Głównej Milicji Obywatelskiej. Badania przeprowadzano przy użyciu mikroskopu Boetiusa ze stolikiem grzewczym. Wyniki współczynnika załamania światła podawane były z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku [4].



Ryc. 11. Zestaw do badania współczynnika załamania światła GRIM III

Posługiwano się też względną metodą termoimmersyjną przy użyciu powyższego mikroskopu, w której stosowano ciecz immersyjną o współczynniku załamania światła $n_D^{25} = 1,5241$. Oznaczano wówczas temperatury (w stopniach Celsjusza) zrównania współczynników załamania światła cieczy immersyjnej i badanych próbek. Otrzymane wyniki badań wskazywały, że temperatury zrównania się współczynników załamania światła części szkieł porównawczych i szkieł dowodowych różniły się mniej niż o 2°C (była to granica błędów) lub nie wykazywały różnic. Podobieństwo między śladami potwierdzano w badaniach metodą fluorescencyjnej analizy rentgenowskiej na spektrometrze QM – 905 firmy Finnigan [5].

Do badań porównawczych śladów w postaci szkieł wykorzystywano również wspomnianą wcześniej metodą spektralnej analizy emisyjnej, do której próbka szkła musiała być wcześniej starta na proszek (ok. 30 mg), zmieszana w proporcji 1:3 z grafitem, a następnie umieszczona w grafitowych elektrodach. Dalszy tok postępowania był tożsamy z opisaną wcześniej procedurą. Rzadko jednak zdarzała się tak duża ilość materiału dowodowego, aby można było zastosować tę metodę. Często odstępowano od badań, z uwagi na zbyt małą ilość materiału.



Ryc. 12, 13, 14. Wyniki z badań współczynnika załamania światła wykonanych przy użyciu systemu GRIM III

Przykładem bardzo specjalistycznej kompleksowej ekspertyzy kryminalistycznej obejmującej badania daktyloskopijne, fizyko-chemiczne i mechanoskopijne z lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia była sprawa kradzieży z włamaniem do Bazyliki Archikatedralnej w Gnieźnie, mającej miejsce w nocy z 19 na 20 marca 1986 roku. Zniszczono wówczas trumnę św. Wojciecha oraz korpus świętego. Materiał porównawczy zabezpieczono z elementów pozostałych na zniszczonej trumnie. Zabezpieczono również bryły srebra, które ujawniono w trakcie późniejszych działań dochodzeniowo-śledczych. Badaniom fizyko-chemicznym poddano również opiłki i drobiny metalu ujawnione w torbie należącej do sprawców oraz śrubę i opiłki zabezpieczone z trumny, próbki metalu pobrane z narzędzi, drobiny metalu ujawnione w kieszeniach odzieży podejrzanych. Badania składu pierwiastkowego wykonano przy użyciu fluorescencyjnej analizy rentgenowskiej i spektralnej analizy emisyjnej. Urząd probierczy w Warszawie wykonał oznaczenia zawartości srebra metodą na kamieniu probierczym oraz klasyczną analizą ilościową. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że skład pierwiastkowy materiału dowodowego jest podobny do składu pierwiastkowego materiału porów-

nawczego. Badania kryminalistyczne dowodów rzeczowych zabezpieczonych w sprawie kradzieży z włamaniem do Bazyliki Archikatedralnej w Gnieźnie przyczyniły się do sformułowania aktu oskarżenia i uznania podejrzanych przez sąd za winnych [6].

Podsumowując, można stwierdzić, że metody i urządzenia wykorzystywane w badaniach kryminalistycznych mikrośladów w postaci metali i ich stopów oraz szkielek w przeszłości polskiej kryminalistyki były zaawansowane i nowoczesne w odniesieniu do metod i urządzeń wykorzystywanych w tym okresie na świecie. Zakład Kryminalistyki był dobrze wyposażony, pracowali tu najlepsi eksperci.

Obecnie, dzięki postępowi nauki urządzenia mają większą czułość i precyzję, są w większym zakresie zautomatyzowane, co pozwala przebadać większą ilość obiektów i wpływa na większą wydajność pracy. Elementem łączącym obie epoki jest czynnik ludzki. Teoretycznie obecnie udział człowieka jest mniejszy przez zautomatyzowanie wielu procesów, jednak w praktyce udział eksperta, wykazującego się spostrzegawczością, cierpliwością i spokojem był i jest niezbędny w badaniach kryminalistycznych śladów, jakimi są mikroślady w przeszłości i obecnie.

Bibliografia

1. Szymborska, K., (1987). Badania monet i innych dzieł sztuki w praktyce Zakładu Kryminalistyki KG MO. *Problemy Kryminalistyki*, nr 175(1), s. 52-72.
2. Wachowicz M., (2001). Analiza nieorganiczna w praktyce kryminalistycznej. Rozdział I - Spektralna analiza emisyjna, s. 12-17 *Zeszyt Metodyczny nr 10*. Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Głównej Policji.
3. Wachowicz, M., (2001). Analiza nieorganiczna w praktyce kryminalistycznej, Rozdział VI - Kamień probierczy, s. 47-59. *Zeszyt Metodyczny nr 10*. Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Głównej Policji.
4. Filochowski, E., Musiał A., (1974). Zidentyfikowanie pojazdu na podstawie odłamków szkła i lakieru. *Problemy Kryminalistyki*, nr 107(1), s. 106-109.
5. Marcinkowski, T., Pogodzińska P. (1983). Zastosowanie fluorescencyjnej analizy rentgenowskiej do zbadania odłamków szkła wyjętych z uszkodzonej gałki ocznej. *Problemy Kryminalistyki*, nr 160(3), s. 262-265.
6. Szulc, Cz., (1986). Kompleksowa ekspertyza kryminalistyczna w sprawie kradzieży z włamaniem do Bazyliki Archikatedralnej w Gnieźnie. *Problemy Kryminalistyki*, nr 174(4), s. 531-546.

Mikroślady w badaniach kryminalistycznych kiedyś i dziś na przykładzie powłok lakierowych i włókien

nadkom. Jolanta Pyt-Rybak
Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji
ORCID: 0009-0000-4498-0782
e-mail: jolanta.pyt-rybak@policja.gov.pl

Streszczenie

Artykuł przedstawia rozwój metod badania mikrośladów, takich jak włókna oraz powłoki lakierowe, w polskiej kryminalistyce od lat 70. XX wieku do współczesności. Opisuje przejście od klasycznych metod mikroskopowych, opartych głównie na obserwacji wizualnej, do zaawansowanych analiz strukturalnych. Omówiono zastosowanie mikroskopii cyfrowej, porównawczej i elektronowej (SEM) oraz technik spektroskopowych (FTIR, UV-Vis). Połączenie tych technik, umożliwia kompleksową identyfikację fizykochemiczną zabezpieczonego materiału, co zwiększa dokładność oraz wartość dowodową analiz mikrośladów i czyni je istotnym elementem współczesnych ekspertyz kryminalistycznych.

Słowa kluczowe: mikroślady, powłoki lakierowe, włókna, mikroskopia, spektroskopia

Badania śladów kryminalistycznych są prowadzone co najmniej od końca XIX wieku. Jednym z rodzajów śladów kryminalistycznych są mikroślady definiowane jako niewidoczne lub słabo widoczne okiem nieuzbrojonym, cząstki materii o niewielkich rozmiarach, które sprawca pozostawia na miejscu zdarzenia. Mikroślady z uwagi na niemożliwość uniknięcia ich pozostawienia, czy usunięcia są cennym nośnikiem informacji o zdarzeniu, jego przebiegu oraz uczestnikach, mogących przyczynić się do ujęcia sprawcy [1, 2]. Do mikrośladów chemicznych należą przede wszystkim: włókna, drobiny powłok lakierowych, drobiny tworzyw, mikrookruszki szkła, metali i ich stopów. Mikrośladom szczególnego znaczenia w kryminalistyce nadało wprowadzenie nowych, czułych i nieniszczących technik analitycznych oraz rozwój aparatury pomiarowej wykorzystywanej do badań.

Metody mikroskopowe należą do najstarszych, nieniszczących metod obserwacji mikrośladów. Zastosowanie obserwacji mikroskopowej obiektów badawczych z wykorzystaniem różnych

technik, pozwalało na określenie wielu parametrów fizycznych na podstawie uzyskanych obrazów mikroskopowych, ale w sposób subiektywny i bez pomocy aparatury rejestrującej wyniki badań.

Jednakże już w latach 70. XX wieku w badaniach wykorzystywano metody mikroskopowe w sposób obiektywny. Jedną z nich była metoda interferencyjno-polaryzacyjna, służąca do określenia współczynnika załamania światła i dwójłomności we włóknach syntetycznych. Jako przyrząd pomiarowy zastosowano w tej metodzie mikroskop MPI-5 (Ryc.1), który stanowił połączenie mikroskopu biologicznego MB-30 oraz urządzenia polaryzacyjno-interferencyjnego MPI-3. Dawało to szereg możliwości badawczych i pomiarowych również w stosunku do ciał anizotropowych.

Mikroskop MPI-5 składał się z następujących podstawowych elementów:

- kondensor szczelinowy z polaryzatorem obrotowym,
- urządzenie polaryzacyjno-interferencyjne MPI-3,
- komplet obiektywów z pryzmatami dwójłomnymi,
- okular pomiarowy OK 15 KM.



Ryc. 1. Mikroskop polaryzacyjno-interferencyjny

Podczas badań, w interferencyjnym polu prążkowym dokonywano pomiarów różnicy drogi optycznej przy znanej grubości obiektu. Dane te pozwalały na obliczenie wartości dwójłomności i współczynnika załamania światła [12].

Metoda oznaczenia współczynnika załamania światła oraz dwójłomności włókien syntetycznych wykazywała szereg zalet. Jedną z nich była łatwość wykonania pomiarów, a także możliwość badania bardzo małych ilości materiałów oraz identyfikacji włókien bez konieczności ich niszczenia. Zalety te pozwalały na szerokie zastosowanie tej metody umożliwiającej porównanie oraz identyfikację grupową włókien syntetycznych [12].

Poniżej przedstawiono przykładowe sprawy z lat 70. XX wieku, w których wykorzystano metodę m. in. interferencyjno-polaryzacyjną i oznaczono współczynnik załamania światła.

W Wydziale Kryminalnym KW MO w Warszawie przeprowadzono badania mikrośladów do postępowania

przygotowawczego z 1973 roku, dotyczącego włamania do mieszkania. Sprawcy weszli do pomieszczeń mieszkalnych przez dach. Z deski, w pobliżu wjazdu znajdującego na dachu budynku, zabezpieczono materiał dowodowy w postaci różnokolorowych włókien. Do sprawy zabezpieczono, jako materiał porównawczy, włókna ze swetra, należącego do osoby podejrzanej. Organ prowadzący postępowanie karne wnioskował o ustalenie: „Czy włókna zabezpieczone na miejscu włamania pochodzą ze swetra podejrzanego?”.

Podczas badań stwierdzono, że sweter wykonany jest z włókien poliakrylonitrylowych. Szczegółowe badania włókien dowodowych i porównawczych przeprowadzono m.in. mikroskopową metodą interferencyjno-polaryzacyjną i oznaczono współczynnik załamania światła we włóknach. Ponadto przy wykorzystaniu mikrospektrofotometru porównano barwniki użyte do wybarwienia włókien w czasie procesu technologicznego. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dowodowe włókna koloru zielonego i jasnobrązowego wykazują podobieństwo do poliakrylonitrylowych włókien, z których wykonany jest sweter i prawdopodobnie z niego pochodzą [5].

W kolejnej sprawie z 1974 r. dotyczącej wypadku drogowego ze skutkiem śmiertelnym, w której samochód ciężarowy potrącił dwie kobiety również wykorzystano metodą interferencyjno-polaryzacyjną. Do badań przesłano materiał dowodowy w postaci włókien koloru czerwonego i beżowego ujawnionych i zabezpieczonych podczas oględzin samochodu.

W postanowieniu zadano pytanie: „Czy zabezpieczone na samochodzie włókna koloru czerwonego mogą pochodzić z chusty denatki, a włókna koloru beżowego z jej rajstop?”

W toku badań stwierdzono, że chusta wykonana jest z mieszaniny włókien wełnianych i poliakrylonitrylowych koloru czerwonego, a rajstopy z beżowych włókien poliamidowych. Ponadto ustalono, że zabezpieczone z samochodu włókna koloru czerwonego to również mieszanina włókien wełnianych i poliakrylonitrylowych, a włókna beżowe są włóknami poliamidowymi.

Pomiary współczynników załamania światła włókien poliakrylonitrylowych, poliamidowych zarówno dowodowych, jak i porównawczych wykonane metodą interferencyjno-polaryzacyjną wykazały ich zgodność. Ponadto porównano barwniki użyte do wybarwienia włókien. Wyniki tej ekspertyzy stanowiły główny dowód w postępowaniu karnym, pozwoliły na wydanie orzeczenia o winie i skazanie sprawcy zdarzenia [5].

Na przestrzeni ostatnich lat możliwości badawcze mikrośladów m.in. włókien czy powłok lakierowych, zwiększyły się na skutek rozwoju mikroskopii, zmienił się wygląd mikroskopów i ich parametry. Mikroskopy zostały połączone z komputerem, co umożliwiło rejestrację obrazu, zapamiętywanie wyników i gromadzenie ich w postaci katalogów wykorzystywanych w badaniach porównawczych.

Obecnie na wyposażeniu Wydziału Badań Chemicznych CLKP są mikroskopy, które umożliwiają dokładniejszą analizę materiału dowodowego i po-

równawczego. Poza mikroskopami stereoskopowymi z wykorzystaniem techniki odbiciowej i transmisyjnej, które decydują o dalszych badaniach, ich rodzaju i kolejności, są również mikroskopy: porównawczy, badawczy, mikroskop z cyfrowym obrazowaniem oraz skaninowy mikroskop elektronowy (Ryc. 2-5, Ryc. 10).

Dzięki mikroskopowi badawczemu czy cyfrowemu, możemy obserwować szczegóły budowy morfologicznej włókien w różnych światłach obserwacji tj. w świetle przechodzącym białym (BF), kontraście fazowym (PH), świetle spolaryzowanym (PO) i ultrafioletowym (UV). W przypadku powłok lakierowych obserwację przeprowadzamy w jasnym (BF) i ciemnym (DF) polu widzenia światła odbitego.

Na podstawie analizy powłok lakierowych można określić kształt, typ pigmentów oraz ilość warstw, wykonać pomiar grubości poszczególnych warstw badanego lakieru. W badaniach włókien możemy określić kształt i wielkość przekroju poprzecznego, a także analizować widok wzdłużny, który w przypadku włókien naturalnych umożliwia określenie rodzaju tych włókien.

Przeprowadzając badania w świetle spolaryzowanym można zaobserwować rozkład obszarów krystalicznych i amorficznych występujących we wnętrzu włókien, a na tej podstawie dokonać wstępnej identyfikacji najbardziej rozpowszechnionych rodzajów włókien, zwłaszcza chemicznych włókien syntetycznych np. włókien poliamidowych, poliestrowych czy poliakrylonitrylowych [6].

Do badań w Wydziale Badań Chemicznych CLKP wykorzystywany jest cyfrowy mikroskop firmy Keyence VHX-6000. Urządzenie to służy do obserwacji i analizy próbek z wysoką rozdzielczością, łącząc optykę najwyższej jakości z cyfrowym przetwarzaniem obrazu. Pozwala ono na dokładną obserwację bardzo małych obiektów oraz ich morfologii. Mikroskop ten posiada dużą głębię ostrości, umożliwiając obserwację nierównych powierzchni pod dowolnym kątem. Wyposażony jest w automatyczny układ obiektywów, pozwalający na płynne przełączanie powiększeń od 20x do 2000x. Urządzenie ułatwia pomiary, szybką rejestrację obrazu, a także tworzenie raportów. Dodatkowo wyżej wymieniony mikroskop pozwala na obrazowanie przestrzenne w formacie 3D [7].

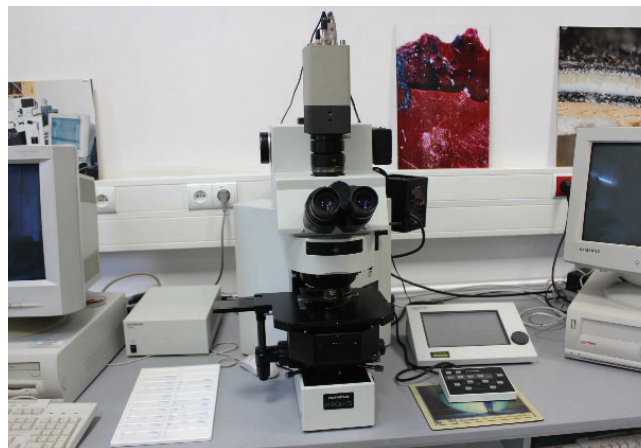
Fotografie mikroskopów znajdujących się na wyposażeniu Wydziału Badań Chemicznych CLKP przedstawiono poniżej.



Ryc. 2. Mikroskop stereoskopowy



Ryc. 3. Mikroskop porównawczy



Ryc. 4. Mikroskop badawczy

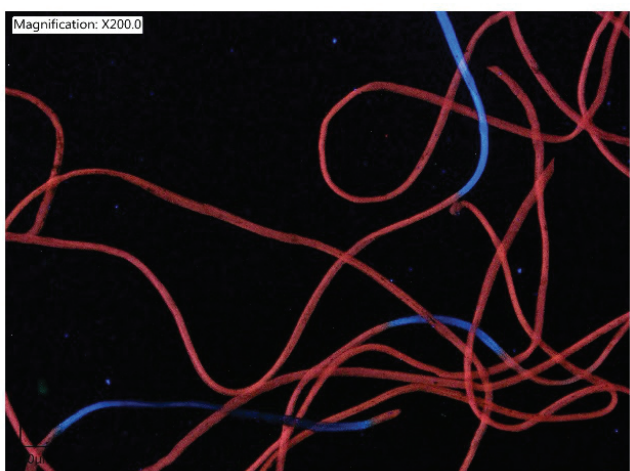


Ryc. 5. Mikroskop cyfrowy

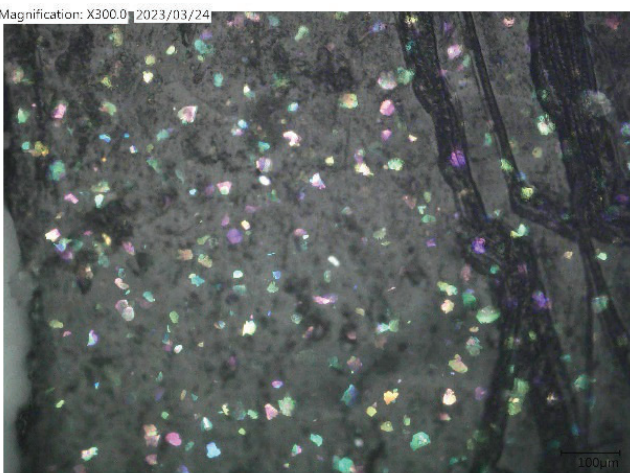
Obraz mikroskopowy dwubarwnych, bezbarwno-czerwonych włókien syntetycznych w świetle białym (BF) i ultrafioletowym (UV) (Ryc. 6, 7) oraz powłoki lakierowej koloru czarnego typu perła i jej przekroju poprzecznego (Ryc. 8, 9) z wykorzystaniem mikroskopu cyfrowego (Ryc. 5) zamieszczono na poniższych fotografiach.



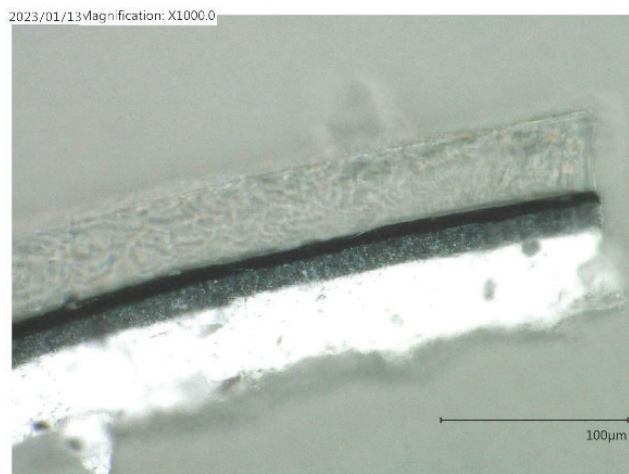
Ryc. 6. Obraz mikroskopowy włókien w świetle białym BF



Ryc. 7. Obraz mikroskopowy włókien w świetle ultrafioletowym UV



Ryc. 8. Obraz mikroskopowy powłoki lakierowej koloru czarnego typu perła w świetle białym BF



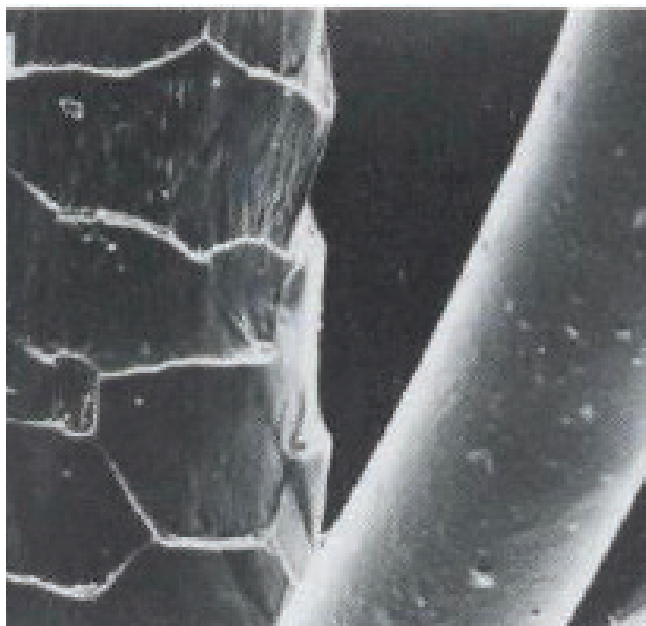
Ryc. 9. Obraz mikroskopowy przekroju poprzecznego powłoki lakierowej w świetle białym BF

Do obrazowania mikrośladów stosowany jest również skaningowy mikroskop elektronowy sprzężony ze spektrometrem promieniowania rentgenowskiego z dyspersją energii (Ryc. 10), który umożliwia obserwację obiektu przy powiększeniu do kilkudziesięciu tysięcy razy. Pozwala uzyskać dużą głębię ostrości, a jego wysoka rozdzielczość ułatwia analizę przy bardzo dużych powiększeniach niemożliwych do uzyskania w mikroskopach optycznych. Za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego możemy rozróżnić szczegóły morfologiczne, obszary zdegradowane oraz charakter uszkodzeń np. nadpalenia, nadtopienia włókien, działanie substancjami chemicznymi, rozerwanie, cięcia mogące pochodzić od różnych narzędzi [8, 9]. W przypadku lakierów pozwala on na szczegółową obserwację kształtu i rodzaju pigmentów użytych w samochodowych powłokach lakierowych. Za pomocą tego mikroskopu możemy także ustalić skład pierwiastkowy mikrośladów, co w konsekwencji pozwala zidentyfikować m.in. nieorganiczne pigmenty i wypełniacze obecne np. w lakierze.

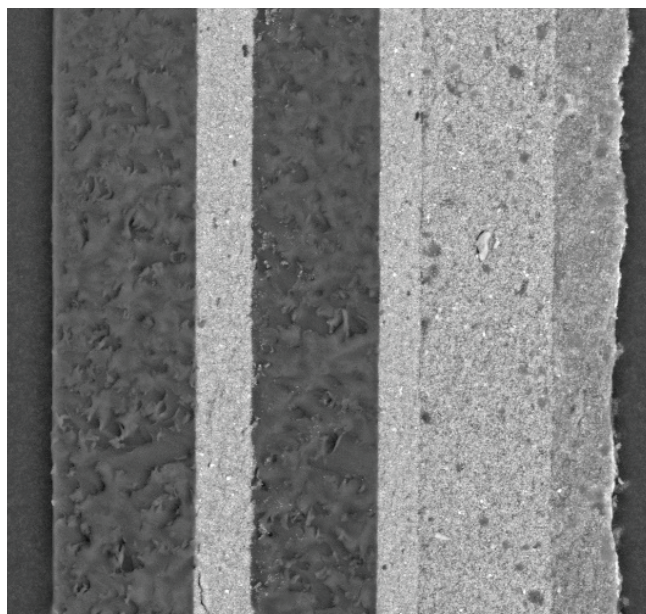
Obraz mikroskopowy wybranych włókien i przekroju poprzecznego powłoki lakierowej (Ryc. 11, 12) z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (Ryc. 10) przedstawiono poniżej



Ryc. 10. Mikroskop elektronowy



Ryc. 11. Obraz mikroskopowy - widok wzdłużny włókna wełny i poliestru



Ryc. 12. Obraz mikroskopowy przekroju poprzecznego powłoki lakierowej

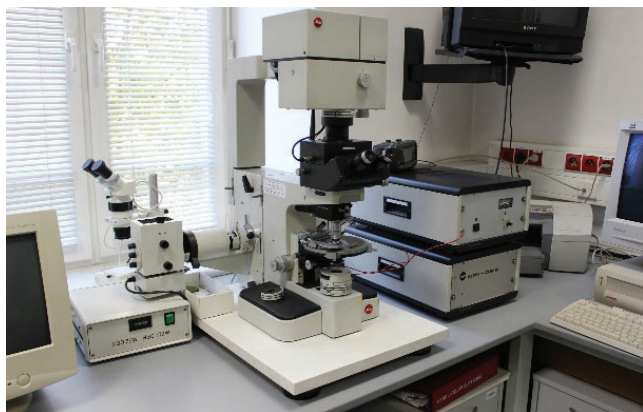
Duży postęp w badaniach śladów lakierowych czy włókien nastąpił z chwilą wykorzystania dwóch lub więcej podstawowych technik analitycznych. Szczególnie przydatną w badaniach śladów kryminalistycznych jest obecnie mikrospektrometria stanowiąca połączenie mikroskopii optycznej ze spektrometrią, w wyniku czego możliwe jest zarówno porównanie barwy, budowy morfologicznej, jak i składu chemicznego bardzo małych próbek lakieru czy włókien, nie powodując ich zniszczenia [1, 3].

Jedną z metod pozwalających na ustalenie składu chemicznego mikrośladów jest spektrometria w podczerwieni z transformacją Fouriera – FTIR (Ryc. 13). Umożliwia ona identyfikację typu polimeru we włóknach i w lakierach przy pomocy mikroskopu wyposażonego w celę diamentową (Ryc. 14). Narzędzie to ułatwia pomiary, a także daje możliwość analizy i identyfikacji niewielkich próbek.



Ryc. 13, 14. Spektrometria w podczerwieni z transformacją Fouriera z celą diamentową

Mikrospektrofotometrię wykorzystuje się również w zakresie UV-VIS do obiektywnego określania barwy. Na wyposażeniu CLKP Wydziału Badań Chemicznych od lat 90. XX wieku znajduje się mikrospektrofotometr Leitz MPV-SP (Combi) w zakresie 220-780 nm sprzężony z mikroskopem badawczym wyposażonym w optykę kwarcową, który jest w pełni zautomatyzowany oraz umożliwia archiwizację wartości pomiarowych. Wyniki pomiarów są przedstawiane w postaci widm względnych oraz skorygowanych, jak również graficznych lub numerycznych. Metoda ta ma przede wszystkim zastosowanie w badaniach porównawczych śladów kryminalistycznych [10, 11] (Ryc. 15). Na wyposażeniu pracowni chemicznej znajduje się również mikrospektrofotometr MSP VIS serii uSight 2100 z mikroskopem Nikon Ci Series, w zakresie światła widzialnego 380-780 nm (Ryc.16). Mikrospektrofotometria pozwala na pomiar i porównanie barwy nawet bardzo małych próbek tj.: lakiery, farby, fragmenty pojedynczych włókien o długości nie przekraczającej jednego milimetra i średnicy kilku mikrometrów oraz przekroje poprzeczne wielowarstwowych powłok lakierowych. Jest to metoda analityczna powstała z połączenia mikroskopii optycznej oraz spektrofotometrii UV-VIS. Funkcją tej pierwszej jest umożliwienie obserwacji obiektu w świetle przechodzącym i odbitym. Natomiast spektrofotometria jako metoda pomiarowa, polega na pomiarze natężenia promieniowania transmitowanego i/lub odbitego od badanej próbki w funkcji długości fali [4].



Ryc. 15. Mikrospektrofotometr UV- VIS



Ryc. 16. Mikrospektrofotometr VIS

Na przestrzeni lat tok postępowania w badaniach mikrośladów w dużej mierze nie zmienił się, natomiast nastąpił znaczący rozwój aparatury. Miniaturyzacja urządzeń pomiarowych i ich połączenie z komputerem zapewniły automatyzację badań. Wyposażenie w programy graficzne i pomiarowe umożliwiło rejestrację wyników badań oraz wymiarowanie analizowanych mikrośladów.

Nowe metody zwiększają możliwości badawcze, dostarczają informacji o budowie i składzie badanego śladu, pozwalają również na szybsze uzyskanie wyników, a także umożliwiają wykrycie i zidentyfikowanie bardzo małych śladów.

Bibliografia:

1. Zięba-Palus, J. (2014). Zobaczyć niewidzialne – czyli o mikrośladach kryminalistycznych, Kraków *Problems of Forensic Sciences*, vol. 100, s. 307-317.
2. Śmigiel-Kamińska, D., Wąs-Gubała, J., Kumirska, J. (2025). Potencjał technik chromatograficznych i spektroskopowych w kontekście kryminalistycznych badań włókien tekstylnych W: D. Semków, K. Bajda (red.), *Kryminalistyka – moja pasja: Księga jubileuszowa dedykowana profesorowi Mieczysławowi Gocowi z okazji 50-lecia pracy naukowej*, (s. 503-515). Rzeszów, Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego.
3. Zięba-Palus, J. (2020), Rola badań fizykochemicznych w analizie śladów kryminalistycznych, Kraków, *Analityka*, nr 21(3), s. 36–43.
4. Wąs-Gubała, J. (2018). Badania identyfikacyjno-porównawcze barwnych fragmentów pojedynczych włókien w kryminalistyce. [w:] *Revolucja przemysłowa 4.0 – wyzwaniem dla przemysłu włókienniczego* (s. 43–52). Łódź: Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki.
5. Bodecki, R. (1975). Przykłady wykorzystania mikrośladów w praktyce, *Problemy Kryminalistyki*, nr 117(3), s. 596-607.
6. Wąs-Gubała, J. (2015). Badania włókien i wyrobów włókienniczych w kryminalistyce, W: J. Zięba-Palus (red.), *Mikroślady i ich znaczenie w postępowaniu przygotowawczym i sądowym*, (s. 51-72), Kraków, Wydawnictwo Instytut Ekspertyz Sądowych.
7. www. Keyence.eu,
8. Wąs-Gubała, J. (2009). *Wpływ wybranych czynników na destrukcję włókien i wyrobów włókienniczych w aspekcie ich znaczenia w procesie sądowym*. Kraków, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych.
9. Śmigiel-Kamińska, D. (2014). Destrukcyjny wpływ środków żrących na wyroby włókiennicze i włókna w aspekcie badań kryminalistycznych. *Problemy Kryminalistyki*, nr 284(2), s. 26-31.
10. Miron, M., Mazurek, A. (1994). Mikrospektrometryczne badania powłok lakierniczych, *Problemy Kryminalistyki*, nr 204, s. 19-25.
11. Miron, M., Mazurek, A. (1993). Zastosowanie mikrospektrofotometrii w badaniach mikrośladów, *Biuletyn informacyjny CLK KGP*, nr 89, s. 22-27.
12. Domański, H. (1976). Oznaczanie współczynników załamania światła i dwójłomności we włóknach syntetycznych za pomocą mikroskopu interferencyjno – polaryzacyjnego MPI-5, *Problemy Kryminalistyki*, nr 124(4), s. 784-786.

Materiały i urządzenia wybuchowe w badaniach kryminalistycznych na przestrzeni lat

post. Łukasz Matyjasek
Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji
ORCID: 0009-0004-2696-6580
e-mail: lukasz.matyjasek@policja.gov.pl

Streszczenie

Artykuł przedstawia rozwój metod badań materiałów i urządzeń wybuchowych w Polsce od końca lat 50. XX wieku do czasów współczesnych. Omówiono ewolucję metod identyfikacji śladów powybuchowych – od klasycznych reakcji chemicznych po nowoczesne metody instrumentalne, takie jak chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas (GC-MS). Przedstawiono również zmiany w konstrukcji urządzeń wybuchowych, dostępności materiałów wysokoenergetycznych oraz wpływ rozwoju technologii informacyjnych i regulacji prawnych na praktykę kryminalistyczną. Postęp naukowo-techniczny znacząco zwiększył skuteczność analizy zdarzeń z użyciem materiałów wybuchowych oraz identyfikacji pozostałości po nich.

Słowa kluczowe: materiały wybuchowe, ślady powybuchowe, urządzenia wybuchowe

Początki kryminalistycznych badań materiałów wybuchowych w Polsce przypadają na lata 1959-1960

W okresie wcześniejszym ślady powybuchowe, pomijając badania pozostałości po wystrzale z broni palnej, analizowano przede wszystkim z saperskiego punktu widzenia, aczkolwiek niejednokrotnie z sukcesem identyfikowano rodzaj materiału wybuchowego użytego w zdarzeniu. Dotyczyło to przede wszystkim sytuacji, w których ujawniono nierozłożone cząstki materiału. Stosowane ówczesne metody badawcze nie pozwalały na wykonywanie analiz chemicznych na takim poziomie czułości, jaki jest niezbędny do wykrycia i identyfikacji śladów materiału wybuchowego w pozostałościach po detonacji, najczęściej więc ograniczano się do ogólnego rozpoznania typu materiału, np. na podstawie intensywności okopceń w okolicy epicentrum wybuchu. Liczne zdarzenia, mające charakter zarówno niebezpiecznych wypadków podczas manipulacji niewybuchami z okresu wojennego, jak i zamachów bombowych, spowodowały, że zagadnieniom śledztwa powybuchowego zaczęto poświęcać coraz więcej uwagi.

W tym miejscu warto wspomnieć postaci

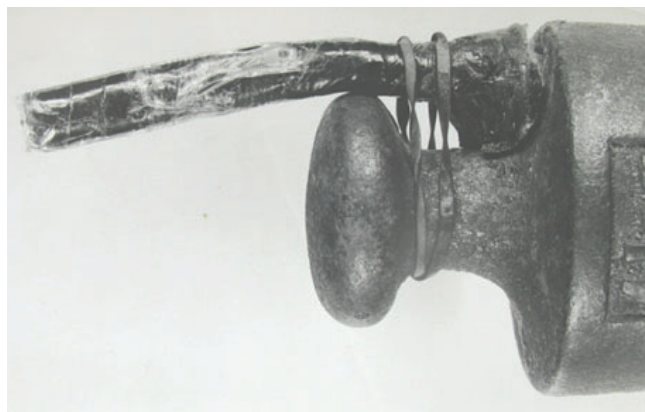
dr. Tadeusza Barana, eksperta Zakładu Kryminalistyki Komendy Głównej Milicji Obywatelskiej, adiunkta Akademii Spraw Wewnętrznych, autora wielu opinii kryminalistycznych oraz publikacji fachowych z zakresu badań materiałów wybuchowych, którego dorobek zawodowy w ogromnym stopniu przyczynił się do rozwoju tej dziedziny kryminalistyki w naszym kraju.

Lektura archiwalnych ekspertyz opracowanych przez T. Barana pozwala stwierdzić, że podstawowe motywy i sposoby działania sprawców przestępstw z użyciem materiałów wybuchowych w okresie PRL nie różniły się zbytnio od współczesnych: dominowały zdarzenia związane z lekkomyślnym postępowaniem ze znajdującą amunicją powojenną, eksperymenty z produkcją materiałów wybuchowych metodą chałupniczą oraz zamachy bombowe o podłożu porachunków osobistych lub aktów wandalizmu. Sporadycznie jednakże zdarzały się sprawy, które dzisiaj określilibyśmy mianem wybitnie „medialnych”, takie jak wysadzenie budynku Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Opolu w 1971 r. przy użyciu ładunku ok. 70 kg trotylu lub tragiczna w skutkach próba uprowadzenia samolotu przez Rudolfa Olmę w 1970 r. z wykorzystaniem improwizowanego urządzenia wybuchowego ukrytego w torcie (Ryc. 1).



Ryc. 1. Rekonstrukcja urządzenia wybuchowego użytego w 1970 r. przez Rudolfa Olmę

Analizując rozwiązania konstrukcyjne samych urządzeń wybuchowych, można stwierdzić, że są podobne do konstruowanych obecnie. Cechowała je znaczna różnorodność, uwarunkowana przede wszystkim różnym poziomem wiedzy i umiejętności wytwórców, od rozwiązań praktycznie niesprawnych, rażących inżynierską niekompetencją, poprzez przyrządy proste, ale pomysłowe w budowie, np. zamaskowane pod postacią odważników (Ryc. 2) lub artykułów gospodarstwa domowego, aż do konstrukcji wysoce zaawansowanych technicznie, zawierających elektroniczne układy czasowe lub systemy inicjowania metodą radiową.



Ryc. 1. Improvizowany granat wykonany z 1-kilogramowego odważnika (1970 r.)

Przekrój materiałów wybuchowych, badanych w ramach ówczesnych spraw, był podobny do współczesnego i obejmował: - materiały pochodzenia wojskowego, takie jak trotyl, heksogen, pentryt i ich kompozycje, pochodzące z kradzieży lub pozyskiwane z amunicji powojennej, - materiały wybuchowe górnicze - mieszaniny pirotechniczne pozyskiwane z ogólnodostępnych wyrobów, takich jak zapalaki lub naboje do pistoletów korkowych, - materiały produkowane w warunkach domowych.

W ostatniej grupie materiałów, podobnie jak dziś, dominowały mieszaniny pirotechniczne, wytwarzane samodzielnie poprzez połączenie różnych paliw i utleniaczy. W latach 1969-72 na ok. 200 spraw powybuchowych opracowanych przez T. Barana 50% przy-

padków dotyczyło wybuchu wyrobów pirotechnicznych wytworzonych głównie sposobem chałupniczym.

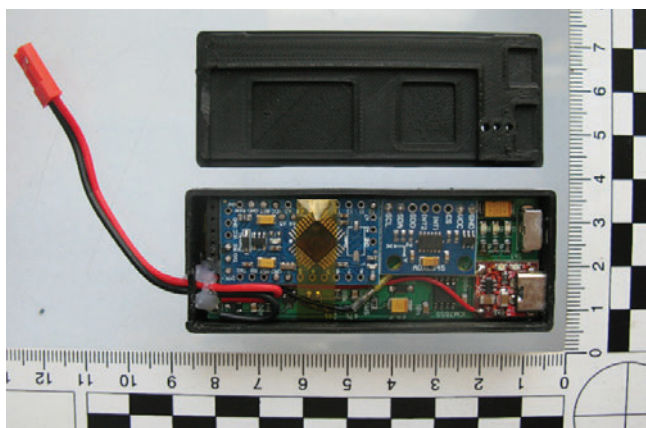
Pomimo wielu podobieństw można zauważyć istotne różnice pomiędzy kryminalistycznymi badaniami materiałów wybuchowych w czasach minionych, a wykonywanymi obecnie, szczególnie wyraźne w obszarze badań chemicznych. Metody analizy chemicznej niegdyś stosowane do wykrywania i identyfikacji materiałów wybuchowych w trakcie badań laboratoryjnych obejmowały przede wszystkim analizę klasyczną, bazującą na testach barwnych i innych charakterystycznych reakcjach, oraz chromatografię cienkowarstwową (TLC). Współcześnie metody te, o ile w ogóle są używane, mają raczej charakter badań wstępnych albo pomocniczych. Dawniej jednakże były podstawą całego procesu analitycznego. Chociaż już od lat 70-tych ubiegłego wieku w laboratoriach kryminalistycznych dostępne były techniki instrumentalne, takie jak chromatografia gazowa lub spektrofotometria UV-Vis, jednak ich czułość była niewystarczająca dla potrzeb powybuchowej analizy śladowej. Szczególną uwagę zwraca bogactwo wykorzystywanych ówczesznie technik TLC i analizy klasycznej, będących w dużej mierze sztuką dziś zapomnianą, pozwalających na osiągnięcie, co prawda kosztem dużej pracochłonności, całkiem dobrych nawet jak na dzisiejsze standardy poziomów wykrywalności, rzędu 0,2-0,5 mikrograma dla większości spotykanych wówczas materiałów wybuchowych.

Współcześnie podstawową rolę w pracowniach badań materiałów wybuchowych odgrywają metody instrumentalne, zwłaszcza z obszaru metod sprzężonych, łączących techniki separacyjne, pozwalające na rozdział złożonych mieszanin chemicznych, z technikami spektroskopowymi, dającymi informacje o budowie molekularnej wykrywanych substancji. Jako przykłady można podać chromatografię gazową sprzężoną ze spektrometrią mas (GC-MS) lub elektroforezę kapilarną z detektorem PDA rejestrującym widma w zakresie UV-Vis. Z dzisiejszej perspektywy osiągnięcia analityczne lat 70-tych nie budzą już takiego wrażenia: stosowana w CLKP metoda chromatografii gazowej z detektorem chemiluminescencyjnym (GC-TEA) pozwala na wykrycie materiału wybuchowego z grupy nitrozwiazków już w ilościach rzędu 0,1 nanogramu, czyli kilka tysięcy razy mniejszych niż przytoczony powyżej limit detekcji dla techniki TLC. Koszty związane z zakupem i eksploatacją nowoczesnej aparatury analitycznej są bez porównania większe, niż w przypadku dawnych, prostych metod.

Postęp w technikach laboratoryjnych objął również sposoby przygotowania próbek do badań. Najprostsze, wciąż stosowane podejście, polegające na ekstrakcji badanego obiektu odpowiednio dobranym rozpuszczalnikiem, a następnie zateżaniu ekstraktu poprzez częściowe jego odparowanie, uzupełniono takimi technikami jak ekstrakcja i mikroekstrakcja do fazy stałej (SPE, SPME). Wynaleziona w latach 90-tych technika SPME, stosowana głównie w badaniach pozostałości po pożarach, okazała się szczególnie przydatna w analizie powybuchowej nadtlenu acetonu (TATP), będącego przykładem nowego, amatorskiego materia-

łu wybuchowego, z którym w drugiej połowie lat 90-tych musiała zmierzyć się zarówno krajowa jak i zachodnia kryminalistyka.

Nieustanny postęp naukowo-techniczny oraz rewolucyjne zmiany w krajowej rzeczywistości gospodarczej spowodowane transformacją ustrojową przyniosły korzyści nie tylko służbom walczącym z terroryzmem bombowym, ale również przestępcom. Dawniej osoba niemająca dostępu do fabrycznych środków strzałowych, a zamierzająca skonstruować urządzenie wybuchowe, musiała w pomysłowy sposób wykorzystać skromną ofertę rynkową, np. przerabiając miniaturowe żarówki na zapalniki elektryczne. Zbudowanie przyrządu bardziej zaawansowanego, np. odpalanego radiowo, wymagało już wiedzy specjalistycznej. Obecnie w ogólnodostępnej ofercie handlowej można znaleźć niewymagające pozwoleń lonty pirotechniczne, zapłonniki elektryczne, a nawet zestawy do zdalnego odpalania fajerwerków metodą radiową, które pomimo niewinnego przeznaczenia znajdują zastosowanie w działaniach przestępców. Można do nich zaliczyć chociażby wybuchowe włamania do bankomatów. Jest to przykład nowego typu zdarzeń, nieznanego w okresie PRL. Kolejną nowością jest wykorzystywanie telefonów komórkowych jako narzędzi do inicjowania wybuchu lub pożaru, mogących spełniać funkcję zarówno urządzenia zwłocznego, jak i odbiornika pozwalającego na zdalne odpalenie ładunku praktycznie z dowolnego miejsca na świecie. Najbardziej złożone technicznie systemy inicjowania spotykane w dzisiejszych sprawach wykorzystują programowalne, miniaturowe układy elektroniczne wyposażone w mikroprocesor. Przykładem jest przedstawione na Ryc. 3 sterowane mikrokontrolerem urządzenie inicjujące reagujące na poruszenie (2025 r.)



Ryc. 3. Sterowane mikrokontrolerem urządzenie inicjujące reagujące na poruszenie (2025 r.)

poruszenie, wyposażone w cyfrowy akcelerometr oraz baterię litowo-jonową z modułem ładowania poprzez złącze USB-C. Skonstruowanie takiego przyrządu nie przekracza dzisiaj możliwości uzdolnionego amatora.

Panująca obecnie wolność gospodarcza oznacza m.in. łatwy dostęp do ogromnej liczby substancji chemicznych, które dawniej były trudne do pozyskania dla przeciętnego konsumenta, a które mogą być wykorzystane do produkcji materiałów wybuchowych. Pomimo starań mających na celu wprowadzenie regu-

lacji prawnych ograniczających dostęp do kluczowych prekursorów materiałów wybuchowych, praktyka kryminalistyczna pokazuje, że asortyment i ilości odczynników ujawnianych w miejscach nielegalnej produkcji materiałów wybuchowych bywają znacznie większe niż w dawnych czasach gospodarki planowej. Zmiany te jednak najbardziej widoczne są w segmencie wyrobów pirotechniki widowiskowej, niegdyś istniejącym w formie szczątkowej, obejmującej praktycznie tylko kapiszony, ognie iskrowe i wspomniane „korki”, obecnie zaś stanowiącym ważną część gospodarki i plasującym Polskę na trzecim miejscu w globalnym rankingu eksporterów wyrobów pirotechnicznych (dane na 2024 rok). Liczba odmian tego typu artykułów dostępnych na rynku jest ogromna, a wiele z nich, zwłaszcza petardy błyskowe, stały się popularnym źródłem pozyskiwania mieszanin pirotechnicznych do budowy improwizowanych urządzeń wybuchowych, praktycznie całkowicie wypierając niegdyś często spotykaną masę zapalczaną.

Fundamentalne zmiany społeczne jakie przyniósł rozwój technik informacyjnych, a w szczególności powstanie Internetu, wpłynęły zarówno na działalność przestępców wykorzystujących materiały wybuchowe jak i na pracę osób przestępczość zwalczających. Łatwy dostęp do informacji technicznych spowodował relatywne zmniejszenie ich wartości. Niegdyś osoba starająca się pozyskać wiedzę o wytwarzaniu i inicjowaniu materiałów wybuchowych musiała polegać na specjalistycznych publikacjach, dostępnych jedynie w formie papierowej w wyspecjalizowanych czytelniach, albo na wynikach własnych, ryzykownych eksperymentów. Obecnie uzyskanie danych o właściwościach i metodach syntezy różnych substancji wybuchowych nie nastręcza żadnych trudności. Łatwa wymiana informacji powoduje, że rozmaite „nowinki” w dziedzinie wytwarzania improwizowanych materiałów wybuchowych błyskawicznie zyskują międzynarodową popularność, czego przykładem może być powtórne „odkrycie” w kręgach amatorów czteroazotanu erytrytolu (ETN), znanego od dawna silnego materiału wybuchowego, który zyskał na atrakcyjności po wprowadzeniu do powszechnego użytku zamiennika cukru, erytrytolu, będącego jego prekursorem. Materiał ten w ostatnich latach kilkakrotnie spotykany był również na terenie Polski.

Oczywiste korzyści z łatwego dostępu do informacji dotyczą także biegłych. Obecnie, dzięki zasobom internetowym w kilka minut można zdobyć charakterystykę dowolnej substancji chemicznej albo zidentyfikować nieznaną substancję na podstawie samego zdjęcia, co dawniej wymagało poświęcenia nieraz wielu godzin na żmudne wertowanie trudnodostępnych podręczników i katalogów.

Z punktu widzenia pracy biegłego ważne zmiany dokonały się również na przestrzeni lat w systemie prawnym regulującym dostęp do materiałów wybuchowych. W latach 1961-2000 całokształt zagadnień w tym zakresie określała obowiązująca wówczas ustawa z dnia 31 stycznia 1961 r. o *bronii, amunicji i materiałach wybuchowych*. Z biegiem czasu akt ten, zaj-

mujący w dniu ogłoszenia cztery strony tekstu, został zastąpiony szeregiem ustaw, tj.: Ustawę z dnia 21 maja 1999 r. o broni i amunicji, Ustawę z dnia 21 czerwca 2002 r. o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego, Ustawę z dnia 13 kwietnia 2016 r. o bezpieczeństwie obrotu prekursorami materiałów wybuchowych, Ustawę z dnia 13 czerwca 2019 r. o wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym. Do powyższych regulacji należy jeszcze wskazać wiele innych aktów prawnych, o charakterze wykonawczym.

Obecnie biegły ze specjalności badań materiałów i urządzeń wybuchowych powinien orientować się zarówno w szeroko pojętej chemii materiałów wysokoenergetycznych, elektronice związanej z konstrukcją urządzeń wybuchowych, a także problematyce prawnej swojej specjalności. Analizując powyższe można stwierdzić, że proces szkolenia biegłych z tej dziedziny jest coraz bardziej wymagający. Kandydaci zdobywają wiedzę teoretyczną i przechodzą liczne praktyki w terenie (zajęcia na poligonie). Nieocenionym elementem jest wymiana wiedzy i doświadczeń między biegłymi, zwłaszcza z wieloletnią praktyką, którzy aktywnie uczestniczą w licznych szkoleniach.

Bibliografia:

1. Goc, S., Baran, T. (1973). Wybrane problemy kryminalistyczne sprawy o spowodowanie wybuchu, *Problemy Kryminalistyki*, nr 105(3), s. 489-509.
2. Baran, T. (1975). Zagrożenie wybuchowe samodzielnymi i fabrycznymi materiałami pirotechnicznymi, *Problemy Kryminalistyki*, nr 114(2), s. 190-198.
3. Baran, T. (1976). Kryminalistyczna i analityczna problematyka identyfikacji materiałów wybuchowych po wybuchu, *Problemy Kryminalistyki*, nr 123(3), s. 562-574.
4. Magdzińska, M., Kucyłyma G. (2012). Praktyczne aspekty związane z oględzinami miejsca zdarzenia z użyciem nadtlenczków acetonu i urotropiny: badania zabezpieczonych śladów, *Problemy Kryminalistyki*, nr 275(1), s. 28-39.
5. Matyas, R. Lycka, A., Jirasko, R., Jakovy, Z., Maixner, J., Miskova, L., Kunzel, M. (2016). Analytical Characterization of Erythritol Tetranitrate, an Improvised Explosive, *Journal of Forensic Sciences*, nr 61(3), s. 759-764.
6. Baran, T. (1989). *Poradnik pirotechnika*, Warszawa, Departament Szkolenia i Doskonalenia Zawodowego MSW.
7. <http://www.worldstopexports.com/fireworks-exporters/>