

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 potrafił 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 skaningowy 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].

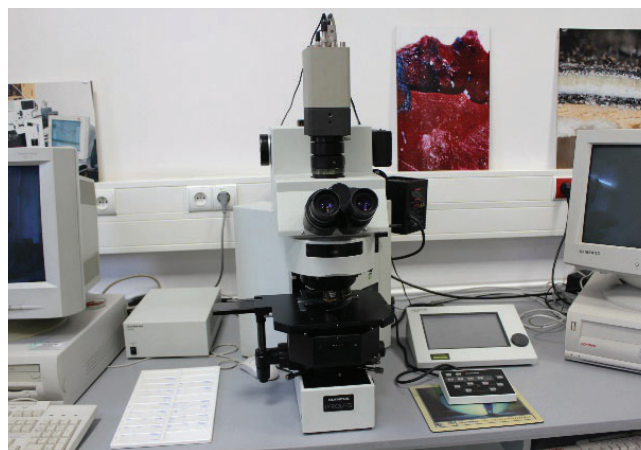
Fotografie mikroskopów znajdujących się na wyposażeniu Wydziału Badań Chemicznych CLKP przedstawiono poniżej.



Ryc. 2. Mikroskop stereoskopowy



Ryc. 3. Mikroskop porównawczy



Ryc. 4. Mikroskop badawczy

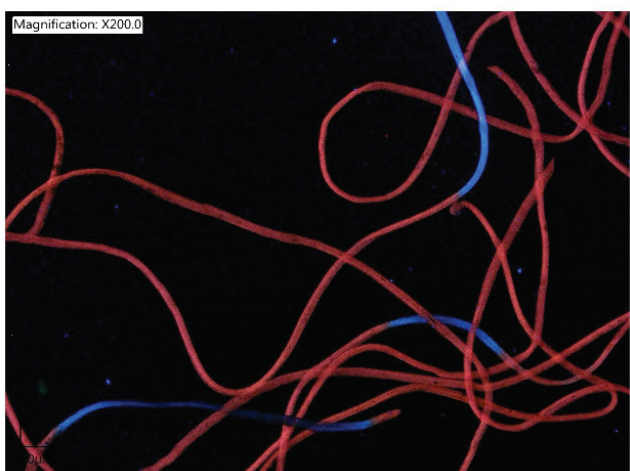


Ryc. 5. Mikroskop cyfrowy

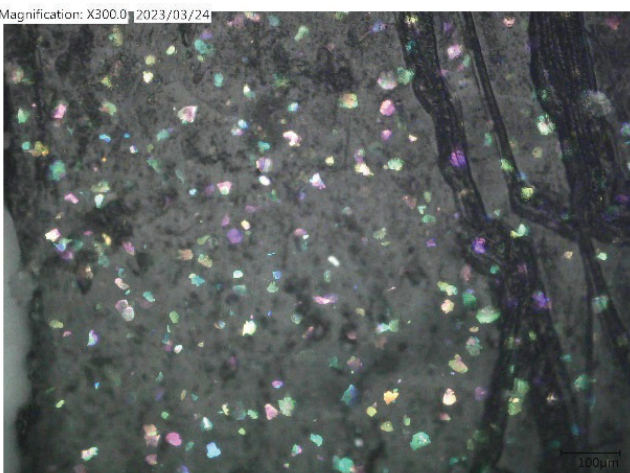
Obraz mikroskopowy dwubarwnych, bezbarwno-czerwonych włókien syntetycznych w świetle białym (BF) i ultrafioletowym (UV) (Ryc. 6, 7) oraz powłoki lakierowej koloru czarnego typu perła i jej przekroju poprzecznego (Ryc. 8, 9) z wykorzystaniem mikroskopu cyfrowego (Ryc. 5) zamieszczono na poniższych fotografiach.



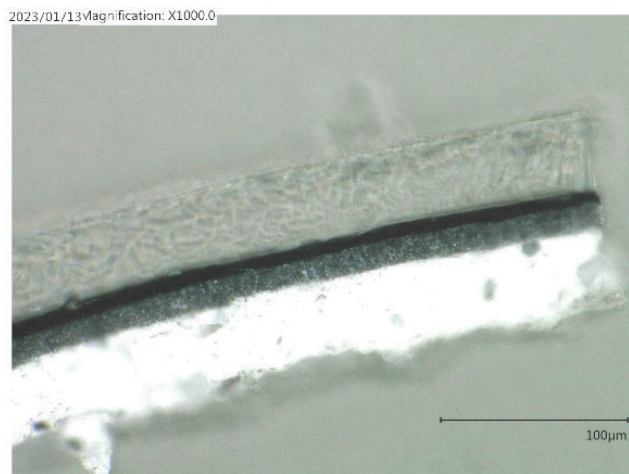
Ryc. 6. Obraz mikroskopowy włókien w świetle białym BF



Ryc. 7. Obraz mikroskopowy włókien w świetle ultrafioletowym UV



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



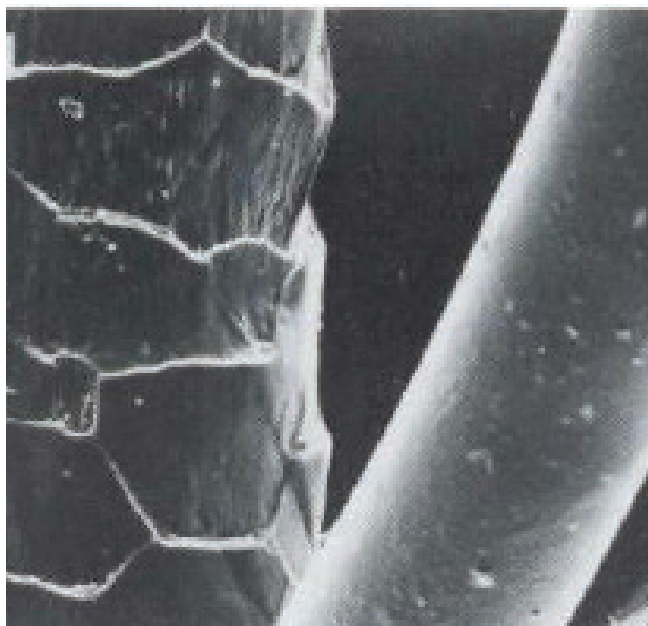
Ryc. 9. Obraz mikroskopowy przekroju poprzecznego powłoki lakierowej w świetle białym BF

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.

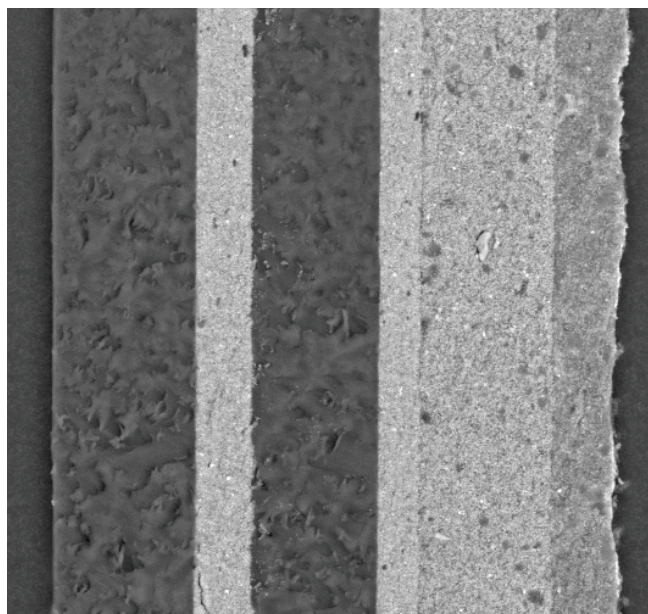
Obraz mikroskopowy wybranych włókien i przekroju poprzecznego powłoki lakierowej (Ryc. 11, 12) z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (Ryc. 10) przedstawiono poniżej



Ryc. 10. Mikroskop elektronowy



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



Ryc. 12. Obraz mikroskopowy przekroju poprzecznego powłoki lakierowej

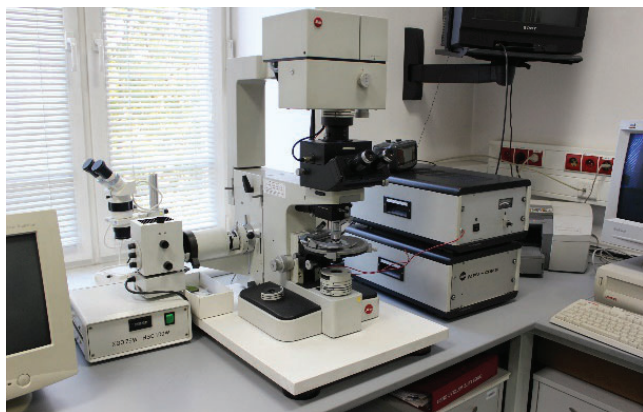
Duży postęp w badaniach śladów lakierowych czy włókien nastąpił z chwilą wykorzystania dwóch lub więcej podstawowych technik analitycznych. Szczególnie przydatną w badaniach śladów kryminalistycznych jest obecnie mikrospektrometria stanowiąca połączenie mikroskopii optycznej ze spektrometrią, w wyniku 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.