

Beata Trzcińska

emerytowany biegły Instytutu Ekspertyz Sądowych im. Prof. dra Jana Sehna w Krakowie

Zastosowanie spektrometrii w podczerwieni w praktyce opiniodawczej Instytutu Ekspertyz Sądowych – wspomnienia emerytowanego biegłego

Streszczenie

W ciągu ostatnich 30 lat autorka niniejszej publikacji, emerytowany już biegły Instytutu Ekspertyz Sądowych w zakresie badań fizykochemicznych, wykorzystywała metodę spektrometrii w podczerwieni zarówno w badaniach prowadzonych w ramach planów naukowych placówki, jak i w ekspertyzach zleconych przez organy wymiaru sprawiedliwości. Metoda ta była połączona zawsze z badaniami optycznymi. Niniejsza publikacja stanowi przegląd wybranych przypadków pokazujących nie tylko wartość tej metody w kryminalistycznych badaniach identyfikacyjno-porównawczych, lecz także jej przydatność w analizie takich aspektów jak np. wpływ podłoża czy złożoność nadesłanego materiału.

Słowa kluczowe: spektrometria w podczerwieni, badania optyczne, interpretacja widma, typy zdarzeń

Wprowadzenie

Wśród metod wykorzystywanych przez chemików analityków do identyfikacji substancji spektrometria w podczerwieni funkcjonuje już od około stu lat. Znalazła też ona uznanie w kryminalistyce. Obecnie jest to metoda stosunkowo szybka, nieniszcząca i skomputeryzowana, co pozwala nie tylko przechowywać wyniki, lecz także opracowywać je matematycznie. Współczesne spektrometry umożliwiają również obserwację próbek za pomocą zintegrowanego z nimi mikroskopu optycznego, co ma istotne znaczenie w analizie bardzo małych próbek.

Spektrometria w podczerwieni polega na oddziaływaniu promieniowania elektromagnetycznego z zakresu $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ (środkowa podczerwień) z cząsteczką związku chemicznego i rejestracji widma będącego wykresem zależności intensywności promieniowania, które zostało zaabsorbowane przez próbkę, od długości fali. Widmo zawiera informacje o wiązaniach pomiędzy atomami, a więc o strukturze danej cząsteczki. Tak zwane pasma charakterystyczne, pochodzące od zdefiniowanych ugrupowań atomów, mają w przybliżeniu stałe położenia niezależnie od rodzaju związku, w którym występują, co pozwala na identyfikację badanego materiału, np. pasmo grupy karbonylowej $\text{C}=\text{O}$ pojawia się w widmach w zakresie $1700\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$.

Diagnostyczna wartość identyfikacji czystego związku chemicznego na podstawie widma w podczerwieni jest zatem bardzo wysoka, co czyni tę metodę

użyteczną w badaniach sądowych. Porównuje się ją z daktyloskopią, która identyfikuje człowieka na podstawie odcisku jego palców. W kryminalistyce jednak częściej mamy do czynienia nie ze związkami chemicznymi, lecz ich mieszaninami. Ich identyfikacja, choć niekiedy utrudniona, jest możliwa dzięki bazom widm związków chemicznych pozwalającym ustalić główne składniki obecne w danej mieszaninie oraz zbiorom baz widm różnego rodzaju produktów.

W Instytucie Ekspertyz Sądowych pierwszym spektrometrem do podczerwieni był pryzmatyczny spektrometr dyspersyjny UR 10 firmy Zeiss, nabyty ok. 1970 r. Z dzisiejszej perspektywy można powiedzieć, że jego wadą był stosunkowo długi czas pomiaru pojedynczego widma (ok. 20 minut) oraz rejestracja widma na papierze powlekany woskiem, co stwarzało konieczność fotografowania otrzymanego zapisu w celu wykorzystania go w późniejszym czasie. Kolejny aparat, zakupiony w 1979 r., uchodził już za bardzo nowoczesny jak na owe czasy, spektrometr fourierowski firmy Digilab FTS 15B był bowiem skomputeryzowany i pozwalał na otrzymanie w ciągu ok. 5 minut widma uśrednionego z kilkudziesięciu pomiarów. W 1998 r. do Pracowni Badania Mikrośladów zakupiony został spektrometr FTS40 z mikroskopem UMA500 firmy Bio-Rad. Dzięki sprzężeniu z mikroskopem możliwa była obserwacja badanej próbki i precyzyjny wybór miejsca pomiaru. Od roku 2014 Pracownia Badania Mikrośladów dysponuje dwoma spektrometrami; jednym do pomiarów

odbiciowych techniką ATR, Nicolet iS 50, i drugim połączonym z mikroskopem do pomiarów transmisyjnych, Nicolet iN 10, oba firmy Thermo Scientific. Ten drugi pozwala dodatkowo sfotografować analizowaną próbkę, a więc zgromadzić pełną dokumentację badań (morfologia/wygląd nadeślanej próbki, wygląd przygotowanego do badań preparatu, uzyskane widmo i – o ile to konieczne – widma z baz danych).

Niekiedy samodzielnie, a niekiedy w połączeniu z wynikami badań innymi metodami analitycznymi, spektrometria w podczerwieni wykorzystywana jest do badań identyfikacyjnych oraz porównawczych różnorodnych materiałów, które są przysyłane jako materiał dowodowy i porównawczy do danej sprawy. Badany materiał może mieć postać ciała stałego lub cieczy. Warto zwrócić uwagę, że prawidłowe określanie składu chemicznego pod kątem obecności głównych składników materiałów dowodowych i ocena ich wartości diagnostycznej na potrzeby wymiaru sprawiedliwości możliwe są dzięki prowadzeniu badań własnych, gromadzeniu kolekcji fizycznych oraz tworzeniu baz danych zawierających widma w podczerwieni znanych substancji i materiałów złożonych.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu opinii wydanych w latach 1987–2018 można wyodrębnić osiem grup ekspertyz, które najczęściej są wykonywane w Pracowni Badania Mikrośladów z użyciem spektrometrii w podczerwieni. Są one związane z szerokim wachlarzem spraw sądowych, które obejmują:

- przestępstwa przeciwko zdrowiu i życiu,
- zabójstwa,
- zniszczenia mienia,

- kradzieże,
- nagłe zgony,
- posiadanie środków zakazanych przez prawo,
- wypadki komunikacyjne,
- przestępstwa przeciwko dokumentom.

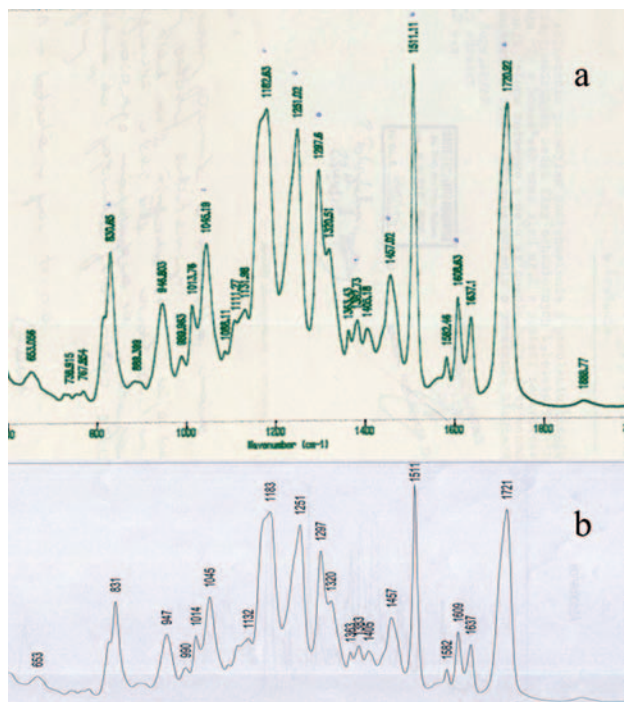
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wybranych opinii, w których badania metodą spektrometrii w podczerwieni miały kluczowe znaczenie w wyjaśnieniu sprawy.

Materiał i metody

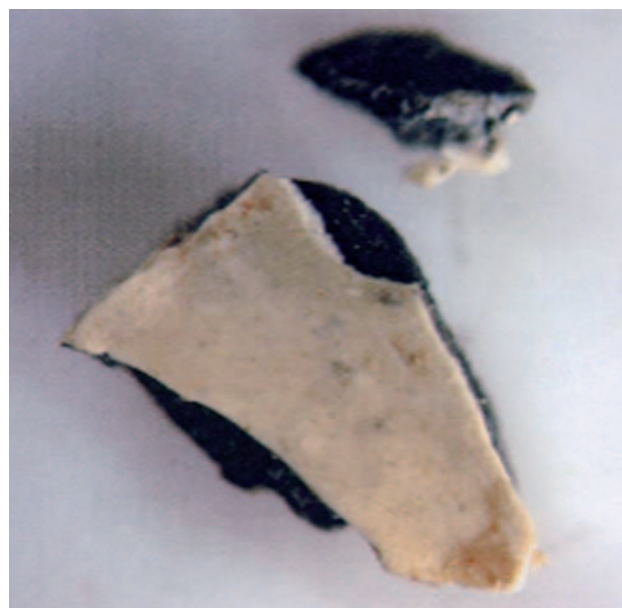
Przedmiotem badań metodą IR mogą być zarówno substancje czyste, jak i mieszaniny bądź materiały złożone (Zięba-Palus, Trzcińska, 2011; Zięba-Palus, Trzcińska, 2012; Zięba-Palus, Trzcińska, 2013; Martyna i in., 2013; Trzcińska i in., 2014; Trzcińska, 2015; Zięba-Palus i in., 2017). W badaniach wykonywanych na użytek organów wymiaru sprawiedliwości stanowią one osobny, wyodrębniony dowód lub ślad, poszukiwany np. pomiędzy włóknami odzieży, w jej załamaniach, szwach, kieszeniach, mankietach itp., lub stanowiący otarcia na różnych innych przedmiotach. Niekiedy konieczne jest zastosowanie jakiejś metody wstępnego rozdzielenia, np. ekstrakcji tłustego zaplamienia z materiału tekstylnego.

W przedstawionych przykładach materiał badawczy stanowiły: NN płyn (kazus 1) lub ciało stałe (kazusy 4–6), plamy nieznanego pochodzenia (kazus 3), materiały kryjące (lakier – kazusy 2 i 7, toner – kazus 8).

W każdym z omawianych przypadków konieczne było przeprowadzenie wstępnych badań optycznych, które pozwoliły ocenić, czy potrzebne jest – i jakie – przygotowanie materiału do badań. Niekiedy nadeśłany materiał można badać wprost, po sprawdzeniu



Ryc. 1. Widmo: a) płynu ze strzykawki, b) żywicy epoksydowej.



Ryc. 2. Drobinę lakieru (powiększenie podczas fotografowania 100x).



Ryc. 3. Fragment listwy.

jedynie, czy nie jest on zanieczyszczony (kazus 1 i 6), czasem należy go pobrać (np. drobiny lakieru pochodzące z danej jego warstwy – kazus 2 i 7, osad z czajnika – kazus 5, drobiny tonera z papieru – kazus 8). Czasem należy sprawdzić, czy jest on czymś zanieczyszczony (kazus 4), lub wyizolować go spośród włókien tworzących główkę wymazówki – kazus 3. Tak przygotowany materiał po naniesieniu na płasko-równoległy kryształ z bromku potasu stanowił próbki badawcze, które bezpośrednio można było umieścić w spektrometrze, aby przeprowadzić pomiar widma w podczerwieni.

W prawie wszystkich prezentowanych sprawach (kazusy 1, 2, 4–8) w badaniach został wykorzystany mikrospektrometr FTS 40A firmy Bio-Rad, a jedynie w przypadku kazusu 3 – mikrospektrometr iN 10 firmy Thermo Scientific. Wszystkie pomiary wykonano techniką transmisyjną.

Kazus 1. Przepięstwa przeciwko zdrowiu i życiu

Podczas bójki dwóch mężczyzn jeden z nich został draśnięty w ramię. Zeznał on, że napastnik miał w ręce błyszczący, ostro zakończony przedmiot. W krzakach w pobliżu miejsca zdarzenia ujawniono strzykawkę z różowym płynem. W wyniku prowadzonych przez policję działań został zatrzymany człowiek, którego poszkodowany rozpoznał jako agresora. Aby odtworzyć przebieg zdarzenia, należało wykazać, że strzykawka stanowi własność podejrzanego (badania daktyloskopijne), a zawarty w niej płyn może stanowić zagrożenie dla życia lub zdrowia. W tym celu nadesłano strzykawkę do Instytutu.

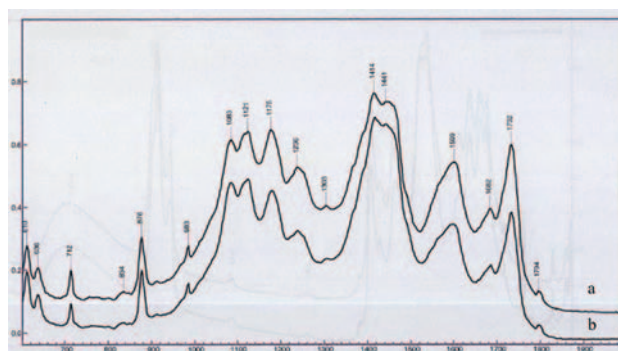
Płyn nie był lotny i nie wykazywał żadnego charakterystycznego zapachu. Widmo badanego płynu było zgodne z widmem żywicy epoksydowej na bazie bisfenolu A (ryc. 1). Nieutwardzona żywica tego typu jest szeroko stosowana, np. do wyrobu tworzyw sztucznych. Nie jest ona trucizną, lecz środkiem szkodliwym, działającym drażniąco na skórę i oczy, może też powodować reakcje alergiczne skóry. Nie da się natomiast określić, jakie skutki spowodowałyby dostanie się płynu do mięśni lub krwi.

W powiązaniu z innymi ustaleniami identyfikacja płynu pozwoliła postawić podejrzanemu zarzut nie tylko udziału w bójce, lecz także narażenia pokrzywdzonego na uszczerbek na zdrowiu.

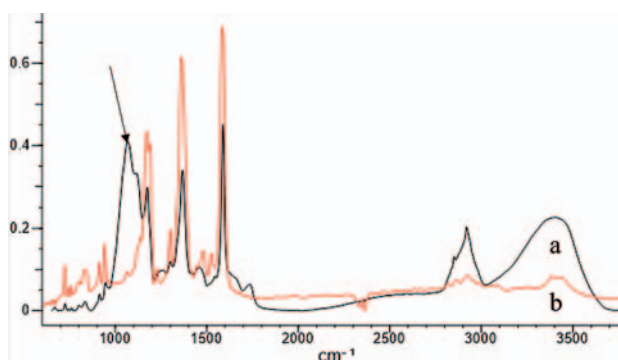
Kazus 2. Zabójstwo

W mieszkaniu znaleziono zakrwawione zwłoki mężczyzny. Jednym z celów prowadzonych przez policję oględzin miejsca zdarzenia było wytypowanie narzędzia, którego użyto do zadawania ciosów. W kuchni oprócz przedmiotów takich jak młotek i noże zabezpieczono także leżące na podłodze fragmenty drewnianych listew. W wyniku sekcji ustalono, że przyczyną śmierci był uraz czaszki, a w ranie głowy ujawniono dwie dwuwarstwowe popielatobiałe drobiny lakieru (ryc. 2). Zgromadzony przez policję i zabezpieczony przez medyka sądowego materiał (drobiny i drewniane fragmenty) został przysłany do Instytutu w celu przeprowadzenia badań identyfikacyjno-porównawczych i ewentualnego ustalenia wspólnego pochodzenia.

Badania optyczne wykazały, że na końcówce jednego z drewnianych fragmentów (ryc. 3) widoczne były



Ryc. 4. Widma warstwy popielatej: a) listwa, b) okruc.



Ryc. 5. Widma: a) suchej pozostałości, b) fioletu krystalicznego. Strzałka wskazuje pasmo od celulozy.

pozostałości po powłoce lakierowej składającej się z dwóch warstw: spodniej popielatej i zewnętrznej białej. W wyniku badań spektrometrycznych ustalono, że warstwa popielata w obu dowodach, tj. pochodząca z drobin i obecna na listwie, to farba podkładowa zawierająca znaczne ilości wypełniaczy w postaci węglanów i siarczany baru, a mniej spoiwa (ryc. 4), warstwa biała zaś to typowy lakier akrylowy zawierający biel tytanową jako pigment. Ponieważ zarówno morfologia, jak i skład chemiczny obu warstw lakieru pokrywającego jeden z drewnianych fragmentów były zgodne z odpowiadającymi im warstwami obecnymi w drobinach lakierowych ujawnionych w ranie, nie można było wykluczyć ich wspólnego pochodzenia.

Pozytywny wynik badań identyfikacyjnych pozwolił na ustalenie, że co najmniej jedna rana (opisana w protokole sekcji) najprawdopodobniej powstała od ciosu zadanego nadesłanym drewnianym fragmentem, zatem jeden element przebiegu zdarzenia został wyjaśniony.

Kazus 3. Zniszczenie mienia

Policja została powiadomiona o zabrudzeniu karoserii samochodu obcym materiałem koloru fioletowego. Materiał z zabrudzenia został zabezpieczony na wymazówkę i przesłany do instytutu w celu jego identyfikacji, która miała stanowić podstawę oszacowania strat poniesionych przez właściciela pojazdu.

W wyniku badań optycznych spomiędzy włókien tworzących końcówkę wymazówki udało się wyizolować kilka drobin, całą zaś końcówkę poddano ekstrakcji etanolem, gdyż zabarwione na fioletowo włókna odbierały się w znacznym stopniu pod jego wpływem. Najbardziej intensywne pasma w widmach, zarówno drobin, jak i suchej pozostałości po odparowaniu rozpuszczalnika z ekstraktu, były zgodne z charakterystycznymi pasmami fioletu krystalicznego. W widmie suchej pozostałości widoczne było dodatkowe szerokie pasmo położone przy długości fali ok. 1000 cm^{-1} . Pasma to pochodzi od celulozy i wskazuje, że sucha pozostałość została zanieczyszczona/zakontaminowana

mikrofragmentami włókienek celulozy pochodzącymi z końcówki wymazówki (ryc. 5).

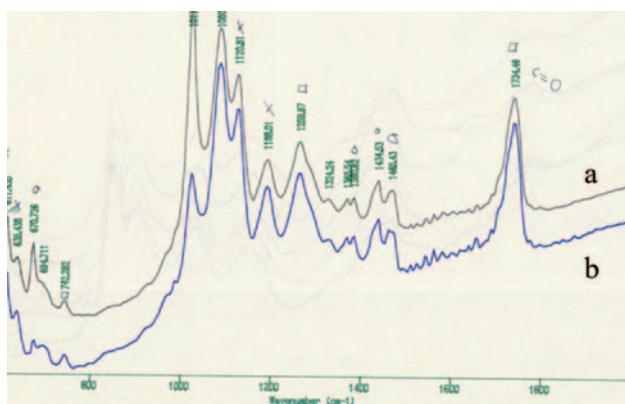
Do zanieczyszczenia karoserii najprawdopodobniej zatem użyto alkoholowego roztworu fioletu. Roztwór łatwo wnika w głąb warstwy lakieru przez jej mikropęknięcia, alkohol stosunkowo szybko odparowuje, fiolet zaś jest związkiem o silnych właściwościach adhezyjnych. Całkowite usunięcie zabrudzeń nie jest zatem możliwe. Fakt, że karoseria została polana roztworem barwnika, który zidentyfikowano, pozwolił określić zabrudzenie powłoki jako trwałe, wymagające renowacji uszkodzenie karoserii.

Kazus 4. Kradzież

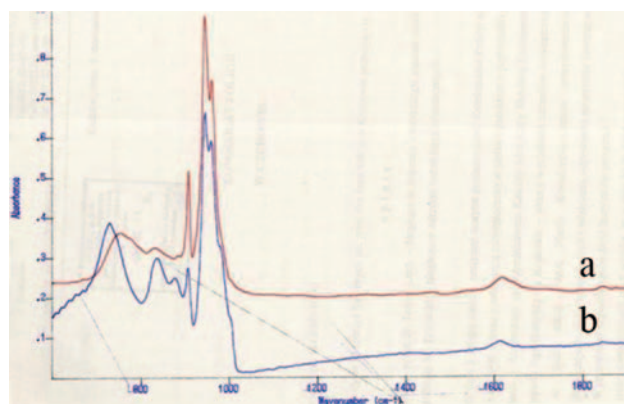
Skradziono samochód osobowy rozpowszechnionej marki i o często występującej barwie. Po dłuższym czasie policja odnalazła niesprawny, w znacznym stopniu uszkodzony pojazd żądanej marki i barwy. Mimo to właściciel rozpoznał go jako swoją własność. Dodatkową cechą indywidualizującą miał, według wyjaśnień właściciela, stanowić fakt, że podwozie było przez niego osobiście konserwowane dwoma różnymi środkami. Aby to potwierdzić, należało przeprowadzić badania chemiczne czarnego materiału pochodzącego z różnych elementów podwozia. Badania te zlecono Instytutowi, stawiając pytania o skład chemiczny wspomnianego preparatu.

Morfologia nadesłanego materiału dowodowego była dwoista. Materiał pochodzący z kilku dowodów miał wygląd smoły (błyszczący), a z pozostałych – jakby asfaltu (matowy). Głównym składnikiem materiału „smolistego” była wyłącznie mieszanina węglowodorów, pozostały zawierał grupę karbonylową (charakterystyczną dla żywic syntetycznych pełniących funkcję spoiwa) oraz – jako wypełniacz – siarczan baru i talk (ryc. 6).

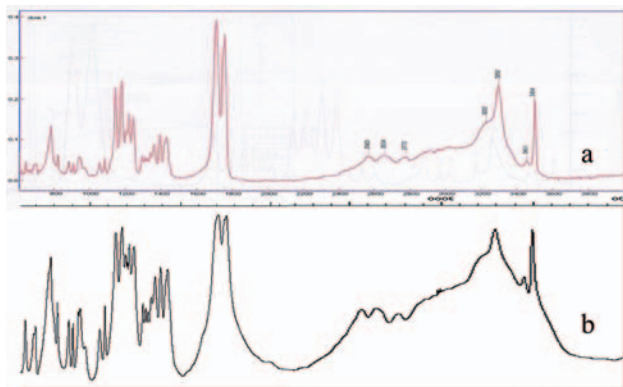
Potwierdzone badaniami różnice w składzie chemicznym nadesłanego materiału pozwoliły pozytywnie zweryfikować wyjaśnienia właściciela, stanowiąc potwierdzenie tożsamości samochodu skradzionego i odnalezionego.



Ryc. 6. Widma materiału o wyglądzie asfaltu: x) BaSO_4 , o) talk, □) żywica, a) okolice baku, b) tył pojazdu strona lewa.



Ryc. 7. Widma: a) fioletowych płytek z czajnika, b) CrO_3 .



Ryc. 8. Widma: a) dowodowego proszku, b) wzorca – kwasu cytrynowego.

Kazus 5. Nagły zgon

Po wypiciu porannej kawy mężczyzna dostaje silnych bólów, a po przewiezieniu do szpitala umiera. Żona zeznaje, że mąż wstał, gdy ona jeszcze spała, i prawdopodobnie zagotował wodę znajdującą się w czajniku. Ona zaś wieczorem wyspała do naczynia odkamieniacz, nalała wody i odstawiła, aby rano je umyć. Na potrzeby postępowania zabezpieczono kilka czerwono-fioletowych płytek z dna czajnika, a z górnej jego części pobrano osad z żółtymi zaciekami. Materiał ten został przesłany do Instytutu w celu sprawdzenia, czy mógł on przyczynić się do śmierci mężczyzny.

Stwierdzono, że widmo uzyskane dla płytek było zgodne z widmem tlenku chromu (ryc. 7), same zaś płytki bardzo dobrze rozpuszczały się w wodzie, a powstający roztwór miał barwę pomarańczową. Badania toksykologiczne wykazały obecność chromu w treści żołądka.

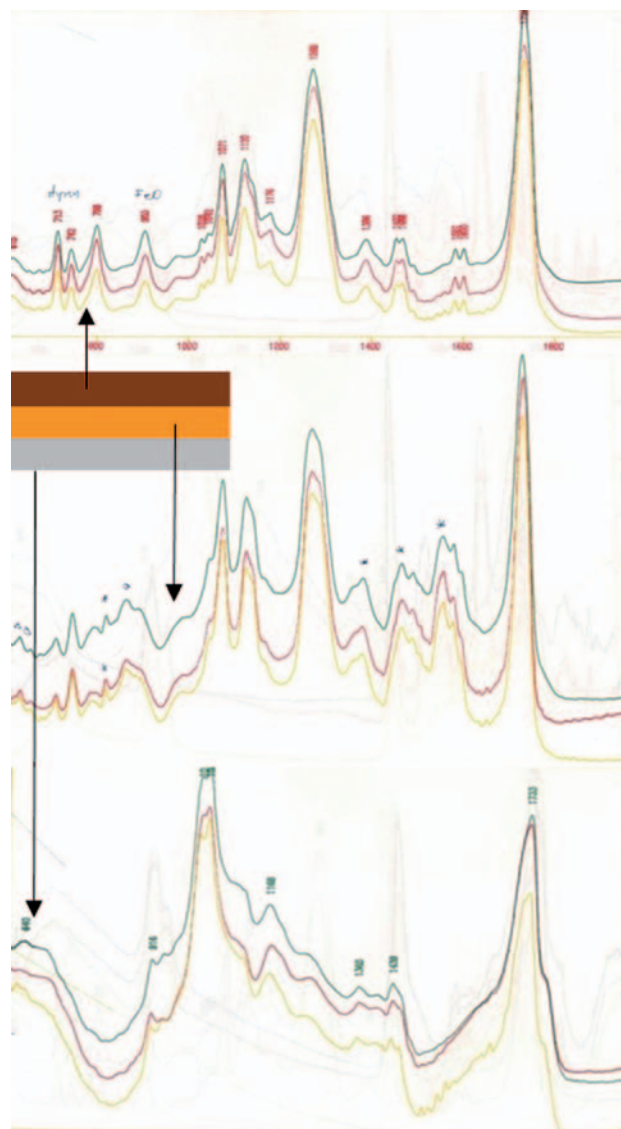
Korelacja wyników badań kryminalistycznych i toksykologicznych stanowiła wystarczającą podstawę do konkluzji, że przyczyną śmierci było zatem zatrucie związkami chromu.

Kazus 6. Posiadanie środków zakazanych przez prawo

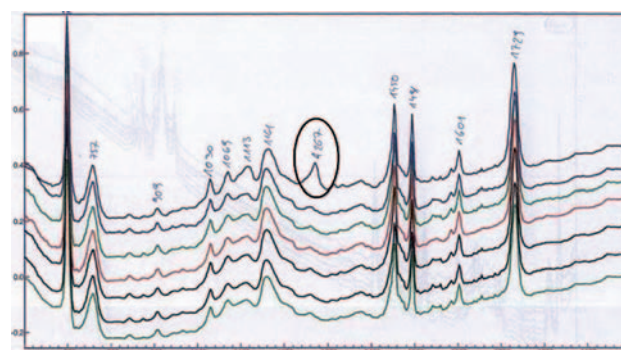
Został zatrzymany mężczyzna podejrzewany o handel narkotykami. Podczas przeszukania znaleziono przy nim woreczek z białym proszkiem. Badania przesiewowe na obecność substancji kontrolowanych dały wynik negatywny. Konieczna była zatem identyfikacja tej substancji i w tym celu została ona przysłana do Instytutu.

Uzyskane widmo w podczerwieni pozwoliło jednoznacznie zidentyfikować proszek jako kwas cytrynowy (ryc. 8), który jest środkiem szeroko stosowanym w gospodarstwie domowym i nie znajduje się na liście substancji kontrolowanych.

Wynik badań stanowił zatem podstawę do szybkiego i pomyślnego dla zatrzymanego zakończenia sprawy.



Ryc. 9. Widma odpowiadających sobie warstw powłoki lakierowej.



Ryc. 10. Widma tonera z zapisów na poszczególnych kartkach jednej z umów czterokartkowych i na umowie trzykartkowej.

Kazus 7. Wypadek komunikacyjny

Wczesnym rankiem na poboczu jezdni odkryto zwłoki kobiety. Podczas sekcji w ranach głowy ujawnione zostały okruszki o wyglądzie lakieru, a jako przyczynę zgonu wskazano potrącenie przez pojazd. Okruszki tego samego rodzaju ujawniono także na miejscu zdarzenia oraz w otrzepinach z odzieży kobiety (bluza i golf). W tej sytuacji zaistniała konieczność przeprowadzenia badań porównawczych zabezpieczonych okruszków. Zgromadzony materiał dowodowy został więc przesłany do Instytutu.

Przeprowadzone badania wykazały przede wszystkim zgodność morfologii. Okruszki pochodzące ze wszystkich trzech źródeł (rany, odzieży i miejsca zdarzenia) cechowała analogiczna budowa, były one trójwarstwowe: brązowo-pomarańczowo-popielate. Stwierdzono również zgodność składu chemicznego warstw lakierowych o danej barwie: spoiwem warstwy brązowej był kopolimer: żywica alkidowa-styren, a jako pigment obecny był tlenek żelaza; warstwa pomarańczowa miała spoiwo złożone z żywicy alkidowej i melaminowej, warstwę szarą zaś stanowiła farba podkładowa zawierająca talk, dwutlenek tytanu i żywicę akrylową (ryc. 9). Zakładając, że sprawca poruszał się samochodem osobowym, przeszukano odpowiednie bazy widm powłok lakierowych EUCAP i PDQ i wytypowano co najmniej kilka modeli pojazdów mogących uczestniczyć w zdarzeniu.

Mimo że uzyskane wyniki dotyczyły badań lakierów, wyraźna była ich korelacja z ustaleniami sekcji zwłok. Fragment zdarzenia można było bowiem zrekonstruować w następujący sposób: kobietę potrącił pojazd, którego powłoka lakierowa w miejscu kontaktu z głową kobiety była trójwarstwowa i miała podaną wyżej morfologię i skład chemiczny. W czasie kontaktu drobne fragmenty powłoki przeniosły się również na odzież kobiety oraz na pobocze jezdni. Wobec braku materiału porównawczego uzyskane wyniki pozwoliły jedynie na wytyczenie kierunku dalszego postępowania.

Kazus 8. Przestępstwa przeciwko dokumentom

Zakwestionowana została część zapisów umowy kredytowej. Dostępne były trzy różniące się między sobą egzemplarze będące własnością banku, kredytobiorcy i sprzedawcy produktu. Dwa z nich były czterokartkowe, a trzeci był trzykartkowy i miał błędnie ponumerowane strony. Dokumenty przesłano do Instytutu w celu przeprowadzenia badań technicznych oraz ustalenia, czy wszystkie nadesłane kartki zostały sporządzone tym samym rodzajem materiału pisarskiego.

Nadesłane kartki potraktowano jako jeden zbiór (gdyż powinny być powstać na jednym urządzeniu, w tym samym czasie, gdy finalizowano umowę). Badania optyczne wykazały, że wszystkie zostały wydrukowane przez drukarkę wykorzystującą toner proszkowy o zgodnej morfologii/wyglądzie ziaren naniesionych

na papier. Ponadto wszystkie kartki wydrukowano z użyciem tonera tego samego rodzaju – akrylowo-styrenowego (identyfikacja grupowa). Jednakże skład chemiczny tonera na jednej z kartek był częściowo odmienny, co przejawiało się obecnością dodatkowego pasma w widmie (ryc. 10).

Istniała więc mocna przesłanka do stwierdzenia, że kartka ta została najprawdopodobniej wydrukowana w innym czasie. Do wydruku mogła być wykorzystana ta sama lub inna drukarka. Badania techniczne nadesłanego zbioru kartek prowadziły do wniosku, że prawdopodobieństwo wydruku kartek na jednym (być może tym samym) urządzeniu jest bardzo wysokie. Konsekwencją zaś był wniosek, że podczas druku tej zakwestionowanej kartki w drukarce zamontowany był inny zasobnik.

Podsumowanie

Podsumowując, należy zauważyć, że niezależnie od rodzaju dostarczonego do badań materiału (ciało stałe lub ciecz), jego pochodzenia (różne rodzaje zdarzeń), stanu (jedno- lub wieloskładnikowy) i możliwości jego izolacji, metoda spektrometrii w podczerwieni jest metodą niezbędną w każdym laboratorium sądowym. Jej zalety to znikomo mała ilość materiału konieczna do badań, nieniszczący ich charakter, szybka identyfikacja badanego materiału (przeszukanie baz danych, własnych i komercyjnych). Jej wadą jest natomiast niemożność identyfikacji, gdy widmo danego związku lub produktu nie znajduje się w bazie. Pomocna jest zaś umiejętność korzystania z tablic korelacyjnych i analiza pochodzenia pasm obecnych w widmie (podejście spektroskopowe). Metoda ta może być wykorzystywana jako metoda badań wstępnych, zasadniczych bądź potwierdzających, co pokazuje jej uniwersalność. Konieczna jest także umiejętność podania przyczyn i oceny istotności ewentualnych różnic widocznych w otrzymywanych widmach. Prawidłowe korzystanie z jej wyników w naukach sądowych wymaga jednak nie tyle teoretycznego podejścia kwantowo-mechanicznego, ile zdobycia odpowiednich umiejętności i kompetencji (widocznych przy interpretacji widma, przykładem może być np. kazus 3).

Podziękowania

W interpretacji wyników analitycznych w prezentowanych opiniach wykorzystano m.in. rezultaty badań przeprowadzonych w ramach finansowanych przez Instytut Ekspertyz Sądowych projektów badawczych: III/K/2009–2012 „Badanie składu pigmentowego i barwnikowego wybranych śladów kryminalistycznych metodami spektroskopowymi” i III/K/2013–2015 „Wpływ niejednorodności składu chemicznego na możliwość identyfikacji i dyskryminacji śladów polimerowych metodami spektrometrycznymi i chromatograficznymi”.

Źródło rycin: *Instytut Ekspertyz Sądowych*

Bibliografia

1. Martyna, A., Lucy, D., Zadora, G., Trzcińska, B.M., Ramos, D., Parczewski, A. (2013). The evidential value of microspectrophotometry measurements made for pen inks. *Analytical Methods*, 5.
2. Trzcińska, B. (2013). A microtrace of great importance – case study. *Problems of Forensic Sciences*, 95.
3. Trzcińska, B.M. (2015). Discriminating among powder toners of the same colour by the use of spectroscopic methods. *Problems of Forensic Sciences*, 102(CII).
4. Trzcińska, B.M., Kowalski, R., Zięba-Palus, J. (2014). Comparison of pigment content of paint samples using spectroscopy methods. *Spectrochimica Acta. Part A*, 130C.
5. Zięba-Palus, J., Trzcińska, B.M. (2011). Establishing of chemical composition of printing ink. *Journal of Forensic Sciences*, 56(3).
6. Zięba-Palus, J., Trzcińska, B.M. (2012). Study of pigment composition in paint traces by microspectrometric techniques (Mikrospektrometryczne badanie składu pigmentowego śladów lakierowych). *Problems of Forensic Sciences*, 89.
7. Zięba-Palus, J., Trzcińska, B.M. (2013). Application of infrared and Raman spectroscopy in paint trace examination. *Journal of Forensic Sciences*, 58(5).
8. Zięba-Palus, J., Weselucha-Birczyńska, A., Trzcińska, B., Kowalski, R., Moskal, P. (2017). Analysis of degraded papers by infrared and Raman spectroscopy for forensic purposes. *Journal of Molecular Structure*, 1140.