

dr Tomasz Szczepański, Urszula Więckiewicz, Barbara Konior, Patryk Puculek
Biuro Badań Kryminalistycznych Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego

Metalizacja próżniowa (VMD) – charakterystyka metody

Streszczenie

Metalizacja próżniowa znalazła zastosowanie w wizualizacji śladów daktyloskopijnych już w zeszłym stuleciu. Jednak ze względu na konieczność stosowania specjalistycznej aparatury zapewniającej odpowiednie warunki przeprowadzania procesu ujawniania, generujące znaczne koszty, metoda nie była obecna w Polsce. Rozwój technologii umożliwił stworzenie kompaktowych urządzeń o mniejszych wymiarach i niższych wymaganiach, które dzisiaj mogą znaleźć zastosowanie praktycznie w każdej pracowni daktyloskopii laboratorium kryminalistycznego. W artykule scharakteryzowano teoretyczne podstawy procesu ujawniania śladów linii papilarnych metodą metalizacji próżniowej z wykorzystaniem sekwencyjnego napyłania na badane powierzchnie złota i cynku, a także srebra. Przedstawiono również urządzenie przeznaczone do metody VMD wraz z przykładowymi efektami ujawniania śladów linii papilarnych na różnych powierzchniach, w tym rejestracji w zakresie odbitej podczerwieni oraz z zabezpieczaniem na foliach daktyloskopijnych. W końcowej części poruszono kwestię akredytowania dostawców usług kryminalistycznych wykonujących badania daktyloskopijne, w tym problemy związane z implementacją metalizacji próżniowej do palety akredytowanych technik wizualizacji śladów daktyloskopijnych.

Słowa kluczowe: ślady linii papilarnych, metalizacja próżniowa, VMD, podczerwień

Rozkwit metody identyfikacji człowieka na podstawie unikatowego charakteru układów linii papilarnych, tworzącej dyscyplinę kryminalistyczną zwaną daktyloskopią, przypada na XX wiek. Okres ten wiąże się także z szybkim rozwojem metod detekcji śladów linii papilarnych opartych na różnych zjawiskach fizycznych i chemicznych, w tym zastosowaniem w wizualizacji śladów daktyloskopijnych procesu napyłania metalami badanymi powierzchni w warunkach próżni.

Napyłanie próżniowe obejmowało działalność związaną z produkcją lusterek, obiektywów, okularów przeciwsłonecznych lub ornamentów dekoracyjnych. Pierwsze wykorzystanie napyłania próżniowego, określanego skrótem VMD (ang. Vacuum Metal Deposition), w detekcji śladów linii papilarnych datuje się na lata 60. XX wieku (Bleay i in., 2017). Ze względu na koszt urządzenia metoda metalizacji próżniowej w polskiej daktyloskopii do roku 2018 nie była obecna. Pierwszym laboratorium kryminalistycznym wykorzystującym metodę VMD w Polsce było Biuro Badań Kryminalistycznych Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego. Obecnie w kraju użytkowanych jest kilka urządzeń wykorzystywanych przez różne służby. Brytyjskie Centre for Applied Science and Technology (CAST) rekomenduje metalizację próżniową jako jedną z bardziej

efektywnych metod ujawniania śladów linii papilarnych na podłożach niechłonnych i semiporowatych (zachowujących cechy zarówno podłoża chłonnych, jak i niechłonnych) (Bandey i in., 2014). Zastosowanie VMD w sekwencji ujawniania zalecane jest z pewnymi wyjątkami przed tradycyjnie stosowaną polimeryzacją cyjanoakrylową.

Istotą metody VMD jest stworzenie odpowiednich warunków dla odparowywania metali przez osiągnięcie znacznego poziomu podciśnienia. Usunięcie cząsteczek powietrza pozwala na swobodne przemieszczanie się atomów odparowywanego metalu w kierunku napylanej powierzchni. Dodatkowo zmniejszenie ciśnienia powoduje obniżenie temperatury przemian fazowych, a co za tym idzie – zmniejszenie zapotrzebowania procesu na energię. Parametry procesu ujawniania obejmują ciśnienie o wartości $< 3 \times 10^{-4}$ mbar dla złota oraz $3 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-4}$ mbar dla cynku.

Mechanizm ujawniania śladów daktyloskopijnych metodą VMD polega na osadzaniu się na badanej powierzchni warstwy odparowywanego metalu w warunkach próżni. Konwencjonalny proces przeprowadzany jest dwuetapowo i obejmuje sekwencyjne osadzanie dwóch metali: złota i cynku (VMD_{AuZn}). W pierwszym etapie zachodzi osadzanie

cienkiej warstwy złota, niedostrzegalnej dla ludzkiego oka; złoto wnika wówczas w substancję śladotwórczą tworzącą ślady linii papilarnych. Drugi etap obejmuje odparowywanie i osadzanie warstwy cynku, który wykazuje większe powinowactwo do powierzchni pokrytych cienką warstwą złota, natomiast powierzchnie w miejscach występowania substancji śladotwórczej są pomijane (ryc. 1). W większości przypadków ujawnione ślady linii papilarnych pozostają transparentne, podczas gdy tło jest pokryte warstwą cynku tworzącą kontrast śladu z podłożem (Champod i in., 2016). Proces $VMD_{Au/Zn}$ jest efektywny w odniesieniu do podłoża niechłonnych i semiporowatych, a także tkanin naturalnych i sztucznych oraz powierzchni poddanych działaniu wysokiej temperatury, nawet do $900^{\circ}C$, po ewentualnym usunięciu warstwy sadzy (Bandej i in., 2014).

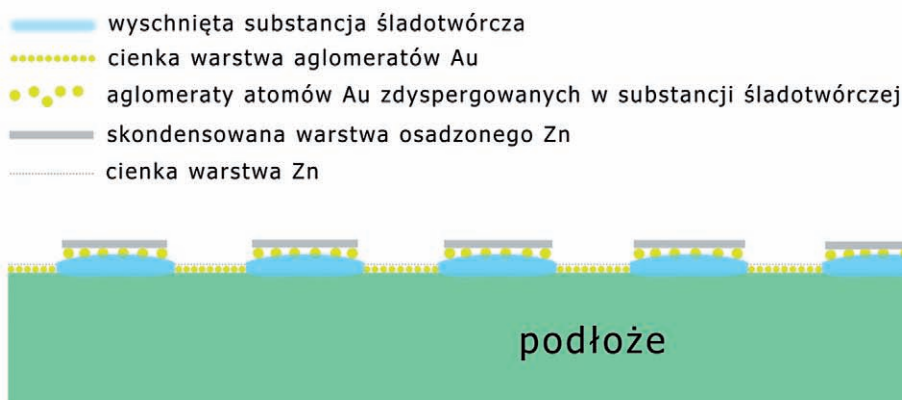
W niektórych przypadkach zachodzi proces tzw. odwróconego ujawniania śladów linii papilarnych, a mianowicie cynk wykazuje większe powinowactwo do substancji śladotwórczej w miejscach kontaktu listewek skórných z podłożem (ryc. 2). Efekt tłumaczy się zachodzącymi w substancji śladotwórczej procesami, w tym m.in. naturalnym wysychaniem

związany z obecnością powietrza lub migracją składników mobilnych w podłoże i pozostawianiem na powierzchni głównie wykrystalizowanych substancji nieorganicznych (np. NaCl) bądź obecnością różnych zanieczyszczeń, które hamują dyfuzję aglomeratów złota w substancję śladotwórczą. Dodatkowo miejsca takie cechują się wyższą energią powierzchniową w odniesieniu do podłoża, co powoduje tworzenie większych agregatów złota na powierzchni substancji śladotwórczej i w efekcie osadzanie się w tych miejscach cynku (Bleay i in., 2017).

W przypadku mocno plastyfikowanych tworzyw sztucznych proces $VMD_{Au/Zn}$ nie daje dobrych rezultatów. Wynika to z faktu, że aglomeraty złota dyfundują zarówno w substancję śladotwórczą, jak i w podłoże. W efekcie nie tworzą się aglomeraty złota stanowiące załączki do osadzania się warstwy cynku (ryc. 3; Bleay i in., 2017). W takich sytuacjach przeprowadza się proces jednoetapowy VMD polegający na wykorzystaniu termicznego odparowywania w warunkach próżni srebra (VMD_{Ag}) – rycina 4. Proces ten jest zalecany w stosunku do większości podłoży plastikowych, w tym szczególności plastyfikowanego polichlorku winylu, plastikowych folii pakowych oraz powierzchni



Ryc. 1. Mechanizm ujawniania śladów linii papilarnych w procesie $VMD_{Au/Zn}$.



Ryc. 2. Mechanizm tzw. odwróconego ujawniania śladów linii papilarnych w procesie $VMD_{Au/Zn}$.



Ryc. 3. Mechanizm powodujący nieskuteczne ujawnianie śladów linii papilarnych w procesie $VMD_{Au/Zn}$ związany z obecnością plastyfikatora tworzywa sztucznego.



Ryc. 4. Mechanizm ujawniania śladów linii papilarnych w procesie VMD_{Ag} .

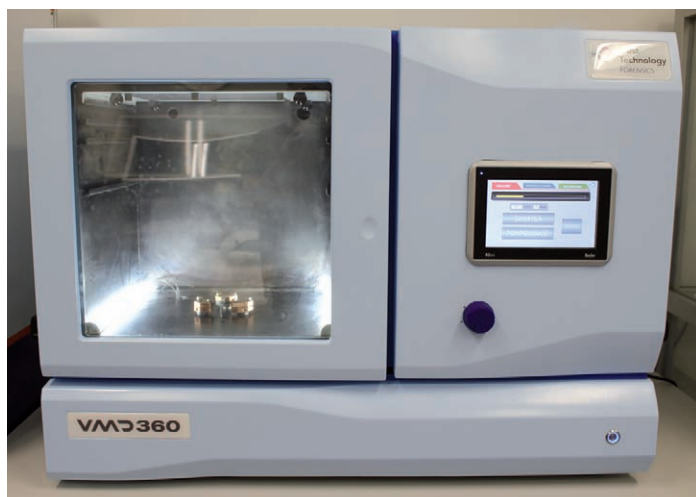
powlekanych bądź zanieczyszczonych tłuszczem lub olejem (Champod i in., 2016; Bandey i in., 2014; Bleay i in., 2017). Mechanizm ujawniania polega na wnikiwności srebra zarówno w podłoże, jak i w substancję śladotwórczą. Kontrast ujawnionych śladów powstaje w wyniku różnic w wielkości rosnących aglomeratów atomów srebra tworzących się w podłożu i substancji śladotwórczej.

Metoda VMD może znaleźć także zastosowanie w detekcji wszelkiego rodzaju śladów kontaktowych nieodwzorowujących linii papilarnych, dając efekty w postaci uwidocznionych plam i przebarwień badanych powierzchni.

Metoda metalizacji próżniowej wymaga stworzenia odpowiednich warunków przeprowadzenia procesu, a mianowicie właściwego podciśnienia oraz temperatury odparowywania metali. W praktyce wykorzystuje się specjalnie zaprojektowane, przeznaczone dla daktyleoskopii urządzenia mające różne rozmiary komory roboczej, w zależności od producenta i modelu. Obecnie dostępne na rynku są urządzenia kilku producentów, o różnej pojemności. W Biurze Badań Kryminalistycznych ABW wykorzystywane jest urządzenie w wersji

kompaktowej produkowane przez West Technology Systems Limited (Wielka Brytania) – VMD360 (ryc. 5). Wymiary komory roboczej wynoszą $36 \times 36 \times 30$ cm. Rozmiary zewnętrzne urządzenia umożliwiają swobodne ustawienie go w laboratorium; wymaga ono jedynie dostępu do standardowego zasilania o napięciu 220 V. Powierzchnie, na których ujawnia się ślady linii papilarnych, przytwierdza się do specjalnych uchwytów za pomocą magnesów i umieszcza w górnej części komory roboczej. Należy podkreślić, że poddana procesowi napylenia zostaje wyłącznie powierzchnia bezpośrednio wystawiona na działanie par metali. W celu przeprowadzenia procesu na przeciwległej stronie przedmiotu wymagane jest jego odwrócenie i ponowne napylenie powierzchni (ryc. 6, 7). Odparowywane metale dozują się na specjalne molibdenowe łożeczki znajdujące się w dolnej powierzchni komory (ryc. 8).

Niekiedy w metodzie $VMD_{Au/Zn}$ napylna warstwa cynku pokrywa podłoże, a w miejscu śladu linii papilarnych widoczna jest wyłącznie plama bez odwzorowanych linii papilarnych, tworząca tzw. pusty ślad. Wówczas zasadne jest zastosowanie kolejnego procesu napylenia srebrem. W celu uzyskania najlepszych efektów



Ryc. 5. Komora do metalizacji próżniowej VMD360.



Ryc. 6. Wnętrze komory do metalizacji próżniowej VMD360.



Ryc. 7. Sposób umieszczania przedmiotów w komorze w trakcie procesu ujawniania – powierzchnie poddawane procesowi ujawniania przytwierdza się za pomocą magnesów w górnej części komory VMD360 na specjalnym uchwycie.

ujawniania możliwe jest także przeprowadzenie procesu w odwrotnej sekwencji w zależności od rodzaju podłoża. Przykładowe efekty ujawniania na różnych podłożach przedstawiono na rycinach 9–13.

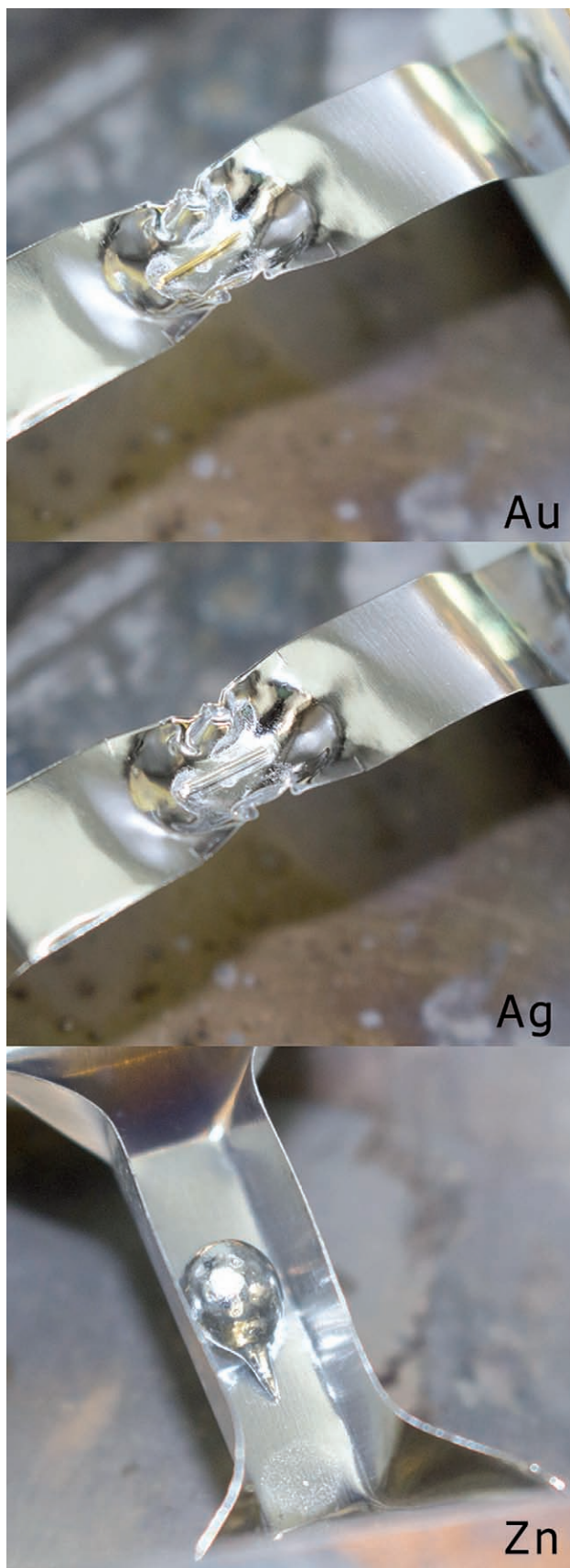
Ponadto, poza szczegółowo omówionymi powyżej technikami nanoszenia złota i cynku oraz srebra, do ujawniania śladów linii papilarnych można wykorzystać inne metale, m.in. miedź, sterling silver, aluminium.

Miedź stosowana jest do ujawniania śladów linii papilarnych na banknotach polimerowych, folii aluminiowej, płytach CD/DVD i kartach kredytowych. Jest ona o tyle interesująca, że ślady linii papilarnych niewidoczne lub słabo widoczne w świetle białym można

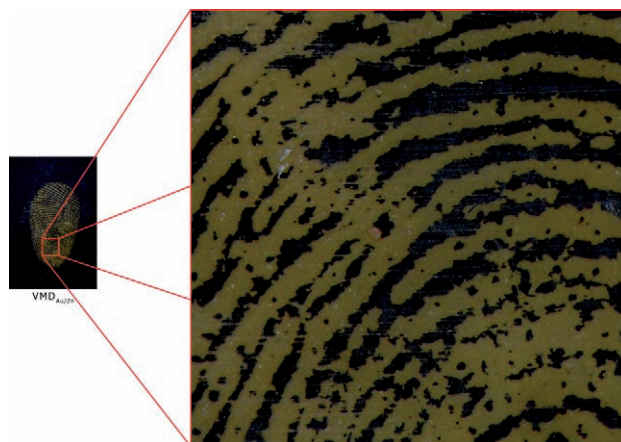
obserwować w podczerwieni dzięki zastosowaniu odpowiedniej filtracji (645 nm).

Sterling silver uzyskiwany z połączenia 92,5% wagowych srebra i 7,5% innych metali, najczęściej miedzi, może być użyty do ujawniania śladów linii papilarnych m.in. na rękawicach nitrylowych, plastikowych kartach bankomatowych, wzmocnionych taśmach montażowych, taśmach transparentnych, prezerwatywach, telefonach komórkowych lub kartach SIM. Wynikiem procesu są widoczne w świetle białym jasnożółte linie papilarne i pomarańczowe/brązowe podłoże/brzdury.

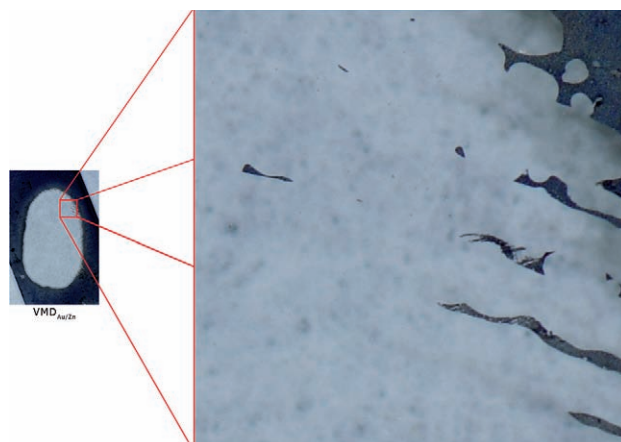
Użycie miedzi i sterling silver do ujawnienia śladów linii papilarnych nie wyklucza drugiego etapu badań



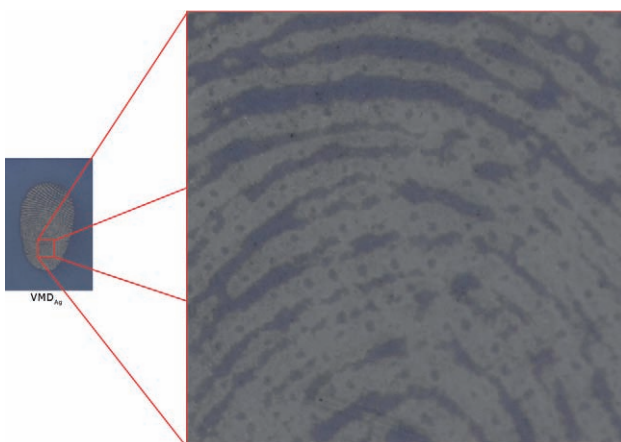
Ryc. 8. Dozowanie metali do odparowywania w procesie ujawniania na specjalnych molibdenowych tódeczkach w komorze VMD360.



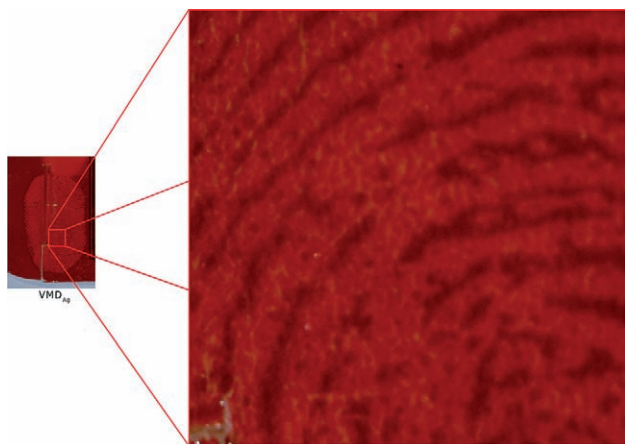
Ryc. 9. Ślad linii papilarnych ujawniony na zewnętrznej stronie pakowej taśmy klejącej przez naporowywanie złota i cynku – widoczne odwzorowane pory i bruzdy linii papilarnych pokryte ciemną warstwą cynku.



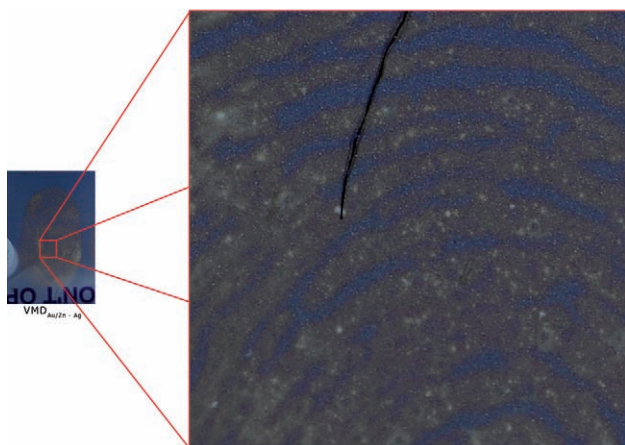
Ryc. 10. Ujawniony na szkle przez naporowywanie złota i cynku tzw. pusty ślad – w powiększeniu widoczne zarysy przebiegu listewek skórnych.



Ryc. 11. Ślad linii papilarnych ujawniony przez naporowywanie srebra na tworzywie sztucznym – polichloru winylu (PVC).



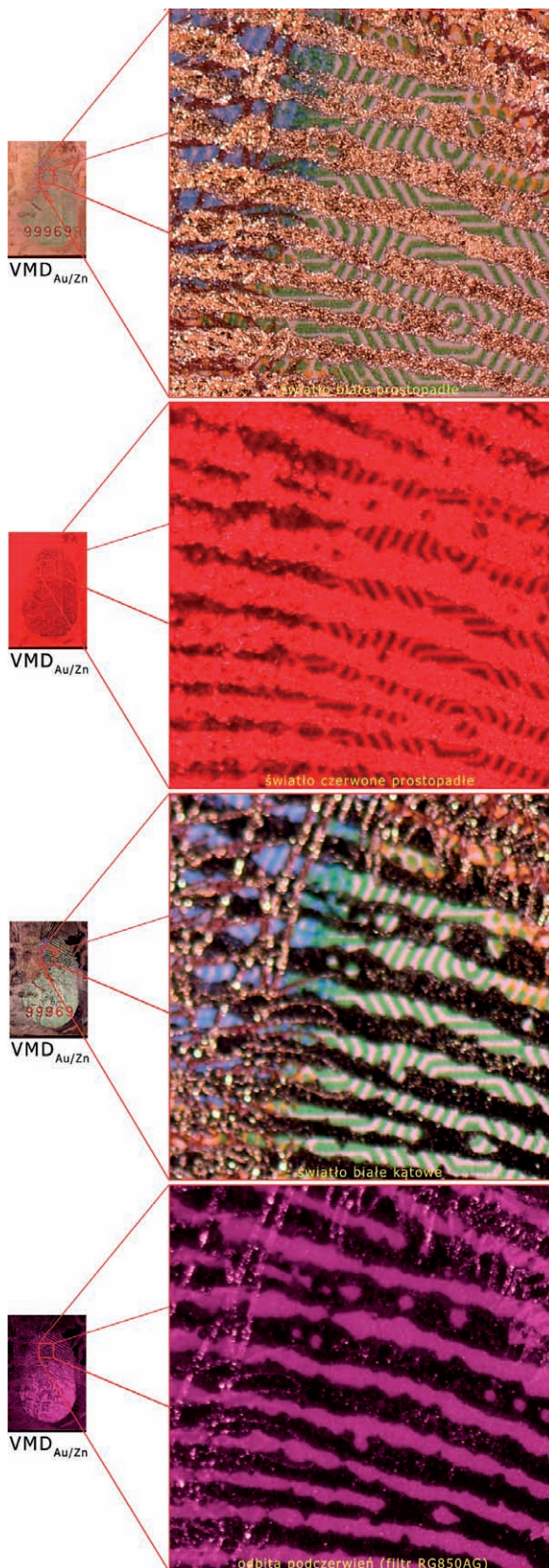
Ryc. 12. Ślad linii papilarnych ujawniony przez naporowywanie srebra na powierzchni semiporowatej – uszlachetnione opakowanie.



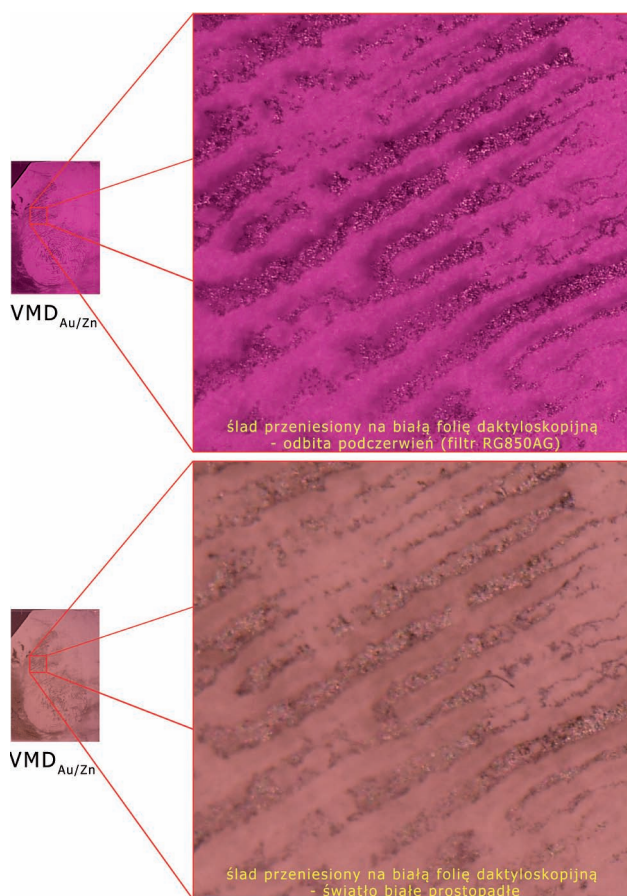
Ryc. 13. Ślad linii papilarnych ujawniony przez naporowywanie złota i cynku, a następnie srebra na powierzchni koperty bezpiecznej.

i zastosowania metali w postaci złota i cynku lub srebra, których używa się w celu poprawy kontrastu między śladem a podłożem.

W wielu przypadkach ujawnione w komorze VMD ślady linii papilarnych widoczne są w świetle białym. Problem pojawia się, gdy podłoże i ujawniony ślad są podobnej barwy bądź badane podłoże jest wielobarwne. Wówczas zasadne jest użycie oświetlaczy kryminalistycznych w celu zredukowania lub wyeliminowania wpływu barwy podłoża na badany ślad. Pomocne okazuje się także zastosowanie rejestracji śladów w odbitej podczerwieni. Wynika to z faktu, że warstwa metali osadzona w miejscach występowania bruzd odwzorowanych linii papilarnych absorbuje promieniowanie w tym zakresie i widoczna jest w postaci ciemnych obszarów kontrastujących z jaśniejszymi obszarami odbijającymi podczerwień w miejscach odwzorowanych listewek skórných, gdzie metal się nie osadził (ryc. 14). Ciekawe zagadnienie stanowi



Ryc. 14. Ślad linii papilarnych ujawniony przez naporowywanie złota i cynku na polimerowym banknocie testowym „Pszczóły” (Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych SA) – widoczna ciemna warstwa cynku w miejscach odwzorowania bruzd linii papilarnych – widok w różnych rodzajach oświetlenia.



Ryc. 15. Śląd linii papilarnych ujawniony przez naporowywanie złota i cynku na polimerowym banknocie testowym „Pszczoty” (Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych SA) przeniesiony na białą folię daktyloskopijną – widoczna ciemna warstwa cynku w miejscach odwzorowania bruzd linii papilarnych – widok w różnych rodzajach oświetlenia.

możliwość zabezpieczenia ujawnionych śladów na żelowych foliach daktyloskopijnych, a następnie wykonania skanu lub zdjęcia (ryc. 15).

W Polsce laboratoria kryminalistyczne stosują różne akredytowane przez PCA techniki badawcze. Do grupy tej nie należy jednak metalizacja próżniowa (stan na lipiec 2020 r.), co wynika m.in. z następujących powodów:

- problemów wynikających z konieczności okresowego sprawdzania parametrów pracy urządzenia za pomocą aparatury kontrolno-pomiarowej (wartość podciśnienia oraz temperatura odparowywania metali),
- konieczności zapewnienia badaniom zakładanej odtwarzalności i powtarzalności uzyskiwanych wyników, generującej problemy związane z walidacją techniki,
- znacznych kosztów serwisowania urządzenia oraz szkoleń.

Odnosząc się do skuteczności metody metalizacji próżniowej, warto przytoczyć dane przeprowadzonej na przestrzeni dwóch lat analizy spraw realizowanych w Montreal Forensic Identification Section of the Royal Canadian Mounted Police. Wykazano, że dzięki zastosowaniu metody VMD ujawniono 67 dodatkowych śladów linii papilarnych nadających się do identyfikacji, co stanowiło 14,8% wszystkich śladów. Jakość kolejnych 23 śladów linii papilarnych ujawnionych tradycyjnymi metodami po zastosowaniu VMD się poprawiła. Jedynie jakość 2 śladów linii papilarnych uległa pogorszeniu (Dove, 2017).

Podsumowując, należy uznać, że metalizacja próżniowa VMD stanowi wartościowe uzupełnienie stosowanych w praktyce metod wizualizacji śladów daktyloskopijnych. Wysoka czułość wraz z właściwym wdrożeniem VMD do stosowanych w praktyce sekwencji metod ujawniania może pozwolić na zwiększenie skuteczności realizowanych badań daktyloskopijnych. Taka sytuacja stworzy szansę ujawnienia nowych śladów linii papilarnych, które nie stałyby się obiektami badań identyfikacyjnych po zastosowaniu tradycyjnych sekwencji metod.

Źródło rycin

Ryciny 1–4: opracowanie własne na podstawie Bleay i in., 2017

Ryciny 5–15: autorzy

Bibliografia

1. Bandey, H.L., Bleay, S.M., Bowman, V.J., Downham, R.P., Sears, V.G. (2014). *Fingerprint Visualization Manual*. Great Britain: Home Office Centre for Applied Science and Technology (CAST).
2. Barnes, J.G. (2011). History. W: A. McRoberts (red.), *The Fingerprint Sourcebook*. National Institute of Justice (<https://nij.ojp.gov/library/publications/fingerprint-sourcebook> – dostęp 10.07.2020).
3. Bleay, S., Sears, V., Downham, R., Bandey, H., Gibson, A., Bowman, V., Fitzgerald, L., Ciuksza, T., Ramadani, J., Selway, Ch. (2017). *Fingerprint Source Book v2.0* (second edition). Great Britain: Home Office Centre for Applied Science and Technology (CAST).
4. Champod, Ch., Lennard, Ch., Margot, P., Stoilovic, M. (2016). *Fingerprint and Other Skin Impressions* (second edition). Boca Raton: CRC Press.
5. Dove, A. (2017). The use of vacuum metal deposition in operational casework: A 2 years retrospective. *Identification Canada*, 40(3).