Wieloimpulsowa luminescencja opóźniona w daktyloskopii i technicznej analizie dokumentów

Wstęp

Luminescencyjne metody ujawniania śladów linii papilarnych od wielu lat stanowią kanon pracy laboratoriów daktyloskopijnych. Metody ujawniania śladów linii papilarnych, oparte na barwnikach fluorescencyjnych oraz fluoryzujących produktach reakcji aminokwasów z substancjami ujawniającymi, znacznie przyczyniły się do poprawy jakości wizualizowanych śladów daktyloskopijnych. W luminescencyjnych metodach ujawniania fluorescencja podłoża, na które został naniesiony ślad, stanowi nieraz dużą przeszkodę we właściwej wizualizacji śladu. Eliminacja tego zjawiska pozwoliłaby otrzymać obraz tylko ujawnionego śladu linii papilarnych. W literaturze fachowej opisywana jest metoda pozwalająca na eliminację elementów tła [1, 3]. Wykorzystuje ona zjawisko luminescencji opóźnionej oraz filtrację czasową w odróżnieniu od dotychczas preferowanej filtracji optycznej. Stosowane urządzenia opierają się na układach mechanicznych lub optoelektronicznych. Modułami wzbudzającymi luminescencję są lasery lub oświetlacze impulsowe.

Pracownia Daktyloskopii Biura Badań Kryminalistycznych Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego została wyposażona w stanowisko do wieloimpulsowej rejestracji luminescencji opóźnionej. Wykorzystywane urządzenie firmy LASAR ELEKTRONIKA jest bardzo podobne do urządzenia będącego w wyposażeniu Wydziału Daktyloskopii Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego KGP.

W „Problemach Kryminalistyki" ukazał się artykuł omawiający zagadnienia teoretyczne wizualizacji śladów daktyloskopijnych bazującej na zjawisku luminescencji opóźnionej [1]. W niniejszym artykule skupiono się na zagadnieniach praktycznych.

Cel badań

Celem badań wykonanych w Pracowni Daktyloskopii BBK ABW było rozpoznanie, czy metoda rejestracji luminescencji opóźnionej, w oparciu o urządzenie firmy LASAR ELEKTRONIKA, specyficznie sensybilizowanych śladów linii papilarnych wniesie nową jakość w metodach wizualizowania śladów daktyloskopijnych. Przeprowadzono także wstępne badania w celu ustalenia, na ile ta metoda może znaleźć zastosowanie w technicznej analizie dokumentów.

Ponadto sprawdzono, które ze stosowanych barwników i proszków fluorescencyjnych do ujawniania śladów linii papilarnych oraz które produkty chemicznych metod ujawniania wykazują luminescencję opóźnioną.

Materiał i metody badawcze

Materiał badawczy stanowiły ślady linii papilarnych:
- naniesione na podłoża wielobarwne, wykazujące wielozakresową luminescencję pobudzaną światłem UV (kartony po sokach owocowych, puszki po piwie i inne podłoża wykazujące fluorescencję na przykład w czerwonym zakresie widma światła białego),
- ujawnione fluorescencyjnymi metodami chemicznymi.

W badaniach dokumentów wykorzystano banknoty polskie i euro, dowody tożsamości, prawo jazdy, karty płatnicze, legitymacje służbowe i inne.

Metodyka badań

Ślady linii papilarnych na podłożach niechłonnych ujawniano metodą cyjanoakrylową i uczulano chelatem europu – TEC. Stosowano także procedurę sensybilizowania śladów po cyjanoakrylanie kolejno Ardroksem i chelatem europu.

Receptura roztworu chelatu europu – TEC [2]:
Roztwór A
1 g – 1-(2-tenoilo)-3,3,3-trifluoroaceton (TTA)
200 ml – 2-butanon
Roztwór B
0,5 g europu chlorek x $6H_2O$
800 ml – woda destylowana
Roztwór koncentratu
200 ml – roztwór A
800 ml – roztwór B
Trwałość koncentratu – około 3 miesięcy
Roztwór roboczy
100 ml – koncentrat
180 ml – 2-butanon
720 ml – woda destylowana
Trwałość roztworu roboczego – około 3 miesięcy

Badano także ślady linii papilarnych kontrastowane:
- barwnikami fluorescencyjnymi po cyjanoakrylanie – Ardroksem, Basic Yellow, Safraniną,
- proszkami fluorescencyjnymi i magnetycznymi proszkami fluorescencyjnymi firm BVDA (B-438, B-47800, B-47950, B-47850, B-41120, B-41020);

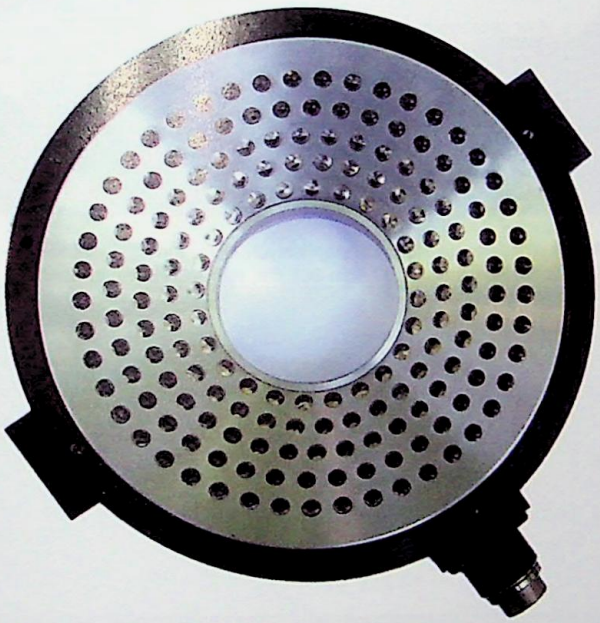
Sirchie (FAC402, FAC4011); ACE (ALL601, AL-L603)

oraz ślady ujawniane na podłożach chłonnych:

– ninhydryną +Zn^{+2}, 5-MTN + Zn^{+2}, DFO, 1,2-IND-em, 1,2-IND-em + Zn^{+2}, chlorkiem dansylu i OPA.

Stanowisko do wieloimpulsowej rejestracji luminescencji opóźnionej

Stanowisko do wieloimpulsowej rejestracji luminescencji opóźnionej zostało wyposażone w optykę firmy Pentax – wymienne obiektywy 100 MACRO i 28-105 Zoom. Jako źródła światła zastosowano impulsowe oświetlacze diodowe o zakresach 365 nm, 475 nm, 530 nm i 940 nm (ryc. 1). Rejestracji można dokonywać poprzez listwę filtracyjną.



Ryc. 1. Oświetlacz diodowy wyposażony w diody emitujące 475 nm i 530 nm
źródło (ryc. 1–12): autor
Fig. 1. *Diode light source equipped with diodes emitting 475 nm and 530 nm light*

Pracą stanowiska i akwizycją obrazu steruje program komputerowy o nazwie HSC45-MI firmy HARDsoft. Obrazy mogą być rejestrowane w formatach TIFF, JPG, BMP. Do każdego pliku graficznego przypisywany jest plik txt z informacją opisującą parametry pracy kamery. Program obsługujący kamerę umożliwia dokonywanie obróbki cyfrowej zdjęć oraz zapamiętanie wszystkich dokonanych na obrazie operacji, a także ich kolejności.

Stanowisko pozwala na rejestrację luminescencji opóźnionej – LO (w zakresach mikrosekundowych), oraz rejestrację fluorescencji w trybie zwykłym – LIVE. Czas rejestracji, metodą wieloimpulsową, jednego obrazu mierzony jest w dziesiątkach sekund.

W badaniach porównywano obrazy rejestrowane w trybie LIVE i LO. Porównań dokonywano na dwóch monitorach LCD. Obrazy rejestrowane były w formacie TIFF. Oglądano obrazy „surowe", tzn. bez dodatkowej obróbki cyfrowej.

Wizualizacja śladów linii papilarnych ujawnianych na podłożach niechłonnych

- Cyjanoakrylan + Ardrox, Basic Yellow, Safranina

Do wizualizacji śladów użyto oświetlacza emitującego 365 nm i 530 nm. Ślady ujawniano cyjanoakrylanem i kontrastowano ww. barwnikami pojedynczo oraz w przedstawionej powyżej sekwencji. Nie zaobserwowano w żadnym z przypadków luminescencji opóźnionej badanych śladów.

- Proszki fluorescencyjne

Do wizualizacji śladów użyto oświetlacza emitującego 365 nm. Ślady linii papilarnych ujawniano różnymi proszkami fluorescencyjnymi pobudzanymi UV firm: BVDA, Sirchie i ACE. Podobnie jak w przypadku barwników fluorescencyjnych rejestracja w trybie LO nie dała pozytywnych rezultatów – żaden z proszków nie wykazywał luminescencji opóźnionej.

- Cyjanoakrylan + chelat europu

Ślady ujawniano cyjanoakrylanem. Kontrastowano TEC oraz sekwencyjnie Ardroksem i TEC. W badaniach zastosowano oświetlacz wyposażony w diody emitujące 365 nm, tj. w obszarze bliskim maksimum absorpcji chelatu europu. Pobudzony nadfioletem chelat, świeci w zakresie czerwieni widma światła białego z maksimum około 613 nm. Optymalny czas naświetlania TEC wynosi: 600–800 μs. Czas emisji po naświetlaniu: 1700–3500 μs.

W większości przypadków obrazy śladów linii papilarnych rejestrowane w trybie luminescencji opóźnionej wykazywały większą ilość szczegółów, lepszy kontrast, były „ostrzejsze", niekiedy „gubiły" tło (ryc. 6, 7). Jeżeli fluorescencja tła oscylowała w zakresie 600 nm i tło nie wykazywało luminescencji opóźnionej, udawało się zarejestrować ślady tylko w trybie LO (ryc. 2, 3).

W zależności od charakterystyki podłoża, na którym ujawniono ślad, należało dobrać właściwie warunki rejestracji, zmieniając parametry pracy kamery: czas naświetlania śladu, czas otwarcia migawki, opóźnienie i liczbę wykonanych ekspozycji. Dobór tych parametrów zależy od rodzaju podłoża i ilości zaabsorbowanego chelatu w śladzie i podłożu. Luminescencję podłoża można wygasić, operując wartościami opóźnienia, pamiętając jednocześnie, że duże opóźnienie ma nega-

Ryc. 2. Wizualizacja śladu linii papilarnych, ujawnionego cyjanoakrylanem, kontrastowanego TEC, linia 365 nm, tryb – LIVE, na pudełku z czerwonym proszkiem fluorescencyjnym
Fig. 2. *Visualisation of latent finger mark treated with cyanoacrylate and contrasted with TEC, 365 nm line, LIVE mode on the box with red fluorescent powder*

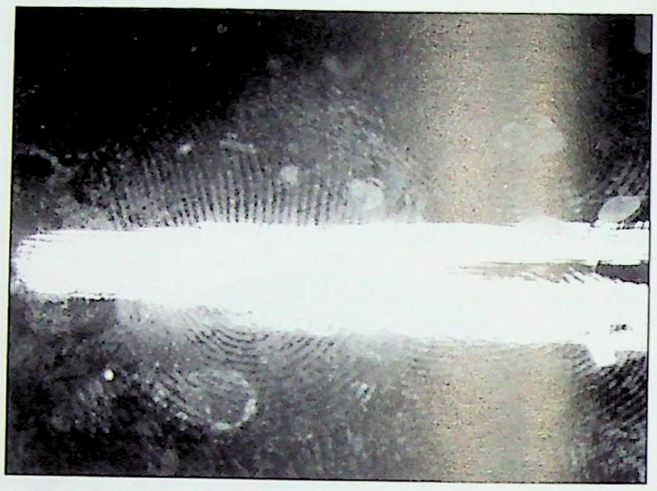
Konfiguracja kamery (czasy w μs):
Czas otwarcia migawki = 500
Czas naświetlania = 400
Opóźnienie = 200
Liczba ekspozycji = 45 000

Ryc. 3. Wizualizacja śladu linii papilarnych, ujawnionego cyjanoakrylanem, kontrastowanego TEC, linia 365 nm, tryb – LO, na pudełku z czerwonym proszkiem fluorescencyjnym
Fig. 3. *Visualisation of latent finger mark treated with cyanoacrylate and contrasted with TEC, 365 nm line, LO mode on the box with red fluorescent powder*

tywny wpływ na wydajność kwantową luminescencji chelatu. Z kolei stosowanie dużej liczby zliczeń obrazów powoduje wzmocnienie wszystkich rejestrowanych elementów.

Dodatkowym utrudnieniem jest adsorpcja chelatu na powierzchniach wielu materiałów. Sensybilizacja chelatem powodowała luminescencję wtórną neutralnych wcześniej podłoży. Stosowano różne roztwory płuczące, które albo nie były skuteczne, albo znacząco wypłukiwały TEC z cyjanoakrylanu, zmniejszając wydajność kwantową w procesie rejestracji.

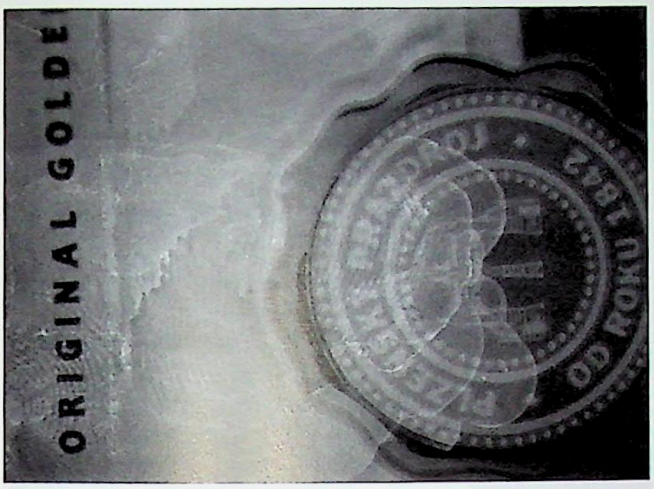
Stwierdzono ponadto, że wizualizacja w trybie LO powoduje zanik odbić światła pobudzającego (ryc. 4, 5).



Ryc. 4. Wizualizacja śladu linii papilarnych, ujawnionego cyjanoakrylanem, kontrastowanego TEC, linia 365 nm, tryb – LIVE, na szklance
Fig. 4. *Visualisation of latent finger mark treated with cyanoacrylate and contrasted with TEC, 365 nm, LIVE mode, on a drinking glass*

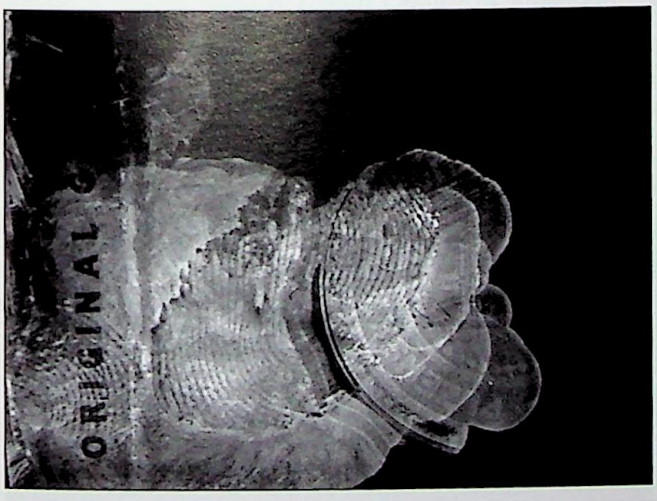
Konfiguracja kamery (czasy w μs):
Czas otwarcia migawki = 600
Czas naświetlania = 350
Opóźnienie = 1
Liczba ekspozycji = 60 000

Ryc. 5. Wizualizacja śladu linii papilarnych, ujawnionego cyjanoakrylanem, kontrastowanego TEC, linia 365 nm, tryb – LO, na szklance
Fig. 5. *Visualisation of latent finger mark treated with cyanoacrylate and contrasted with TEC, 365 nm line, LO mode, on a drinking glass*



Ryc. 6. Wizualizacja śladu linii papilarnych, ujawnionego cyjanoakrylanem, kontrastowanego TEC, linia 365 nm, tryb – LIVE, na puszce po piwie
Fig. 6. *Visualisation of latent finger mark treated with cyanoacrylate and contrasted with TEC, 365 nm line, LIVE mode, on a beer can*

Konfiguracja kamery (czasy w μs):
Czas otwarcia migawki = 800
Czas naświetlania = 600
Opóźnienie = 300
Liczba ekspozycji = 5000



Ryc. 7. Wizualizacja śladu linii papilarnych, ujawnionego cyjanoakrylanem, kontrastowanego TEC, linia 365 nm, tryb – LO, na puszce po piwie
Fig. 7. *Visualisation of latent finger mark treated with cyanocarylate and contrasted with TEC, 365 nm line, LO mode on a beer can*

Wizualizacja śladów linii papilarnych ujawnianych na podłożach chłonnych

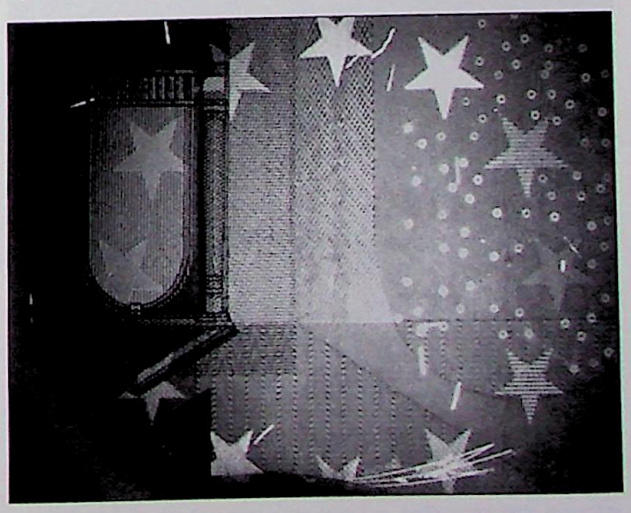
W literaturze fachowej brak jest doniesień omawiających możliwości zastosowania trybu LO na podłożach chłonnych w mikrosekundowych zakresach czasowych (omawiany powyżej chelat europu ze względu na swoje właściwości może być stosowany tylko na podłoża niechłonne). W związku z powyższym sprawdzono, czy dotychczas stosowane preparaty, na podłoża chłonne, umożliwią zastosowanie wizualizacji w trybie LO na dostępnym urządzeniu.

W badaniach użyto oświetlaczy diodowych emitujących 475 nm i 530 nm. Ślady linii papilarnych ujawniano: ninhydryną + Zn^{+2}, 5-MTN + Zn^{+2}, DFO, 1,2-IND-em, 1,2-IND-em + Zn^{+2}, chlorkiem dansylu i OPA. Niestety produkty reakcji między ww. związkami a substancją potowo-tłuszczową nie wykazywały luminescencji opóźnionej w dostępnych zakresach czasowych.

Luminescencja opóźniona w technicznej analizie dokumentów

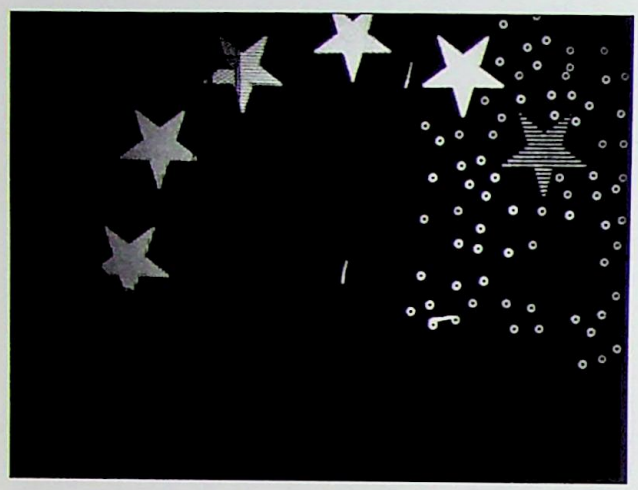
Na dokumentach, banknotach stosowanych jest wiele zabezpieczeń luminescencyjnych. Wykorzystywane są elementy wykazujące fosforescencję i fluorescencję o charakterze tradycyjnym i anty-Stockesowskim tzw. *upconventery*. W większości ww. zabezpieczenia pobudzane są nadfioletem lub podczerwienią. Poza zabezpieczeniami wykonanymi farbami fosforencyjnymi brak jest informacji o świadomym stosowaniu przez producentów zabezpieczeń dokumentów wykazujących zjawisko luminescencji opóźnionej. Elementy zabezpieczeń posiadające tego typu właściwości stanowiłyby dodatkową trudność w fałszerstwach i pomoc w pracach identyfikacyjnych.

Detekcja zjawiska luminescencji opóźnionej do tej pory była utrudniona ze względu na brak dedykowanych ku temu narzędzi. Stanowisko do wieloimpulsowej rejestracji luminescencji opóźnionej umożliwia sprawdzenie, czy na dokumentach będących w obiegu występują zabezpieczenia wykazujące luminescencję opóźnioną.



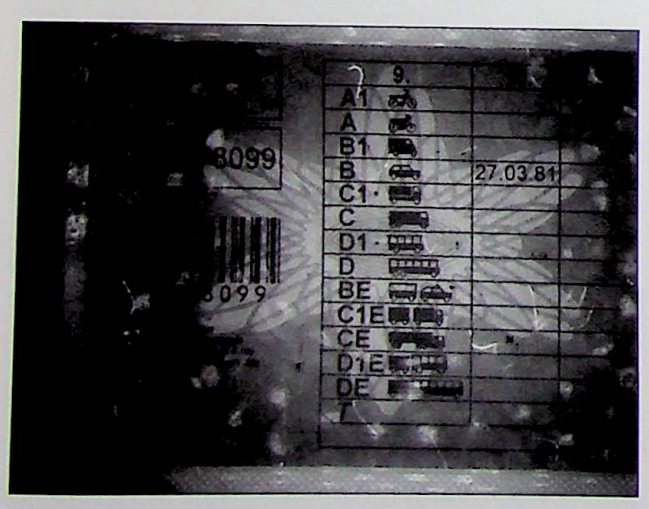
Ryc. 8. Wizualizacja fragmentu banknotu 50 euro, linia 365 nm, tryb – LIVE
Fig. 8. *Visualisation of fragment 50 EUR banknote, 365 nm line, LIVE mode*

Konfiguracja kamery (czasy w μs):
Czas otwarcia migawki = 800
Czas naświetlania = 100
Opóźnienie = 100
Liczba ekspozycji = 20 000



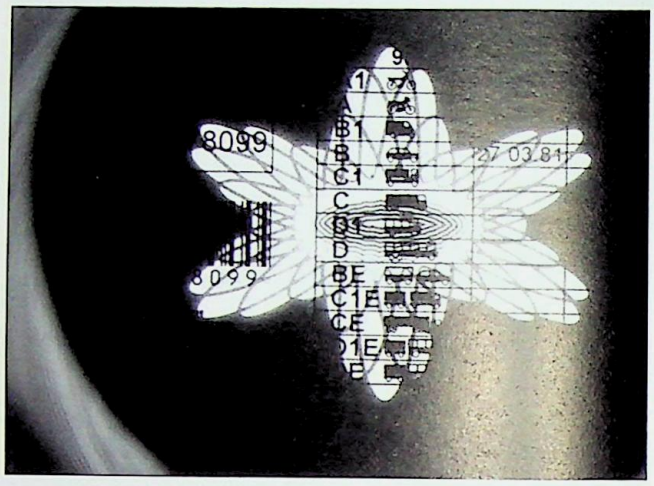
Ryc. 9. Wizualizacja fragmentu banknotu 50 euro, linia 365 nm, tryb – LO
Fig. 9. *Visualisation of 50 EUR banknote fragment, 365 nm lilne, LO mode*

W badaniach wykorzystano oświetlacze diodowe emitujące 365 nm i 940 nm, stosowano także filtry krawędziowe. Stwierdzono, że na wielu dokumentach są zabezpieczenia świecące w trybie LO, np. prawo jazdy (ryc. 10, 11), samochodowe dowody rejestracyjne, banknoty PLN i euro (ryc. 8, 9), pieczątki urzędowe (ryc. 12).



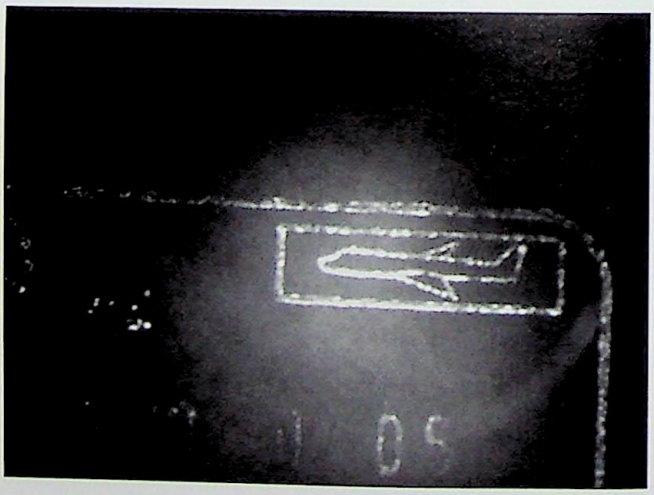
Ryc. 10. Wizualizacja prawa jazdy, linia 365 nm, tryb – LIVE
Fig. 10. *Visualisation of driver's licence 365 nm line, LIVE mode*

Konfiguracja kamery (czasy w μs):
Czas otwarcia migawki = 800
Czas naświetlania = 500
Opóźnienie = 100
Liczba ekspozycji = 20 000



Ryc. 11. Wizualizacja prawa jazdy, linia 365 nm, tryb – LO
Fig. 11. *Visualisation of driver's licence 365 nm line, LO mode*

Konfiguracja kamery (czasy w μs):
Czas otwarcia migawki = 500
Czas naświetlania = 400
Opóźnienie = 10
Liczba ekspozycji = 25 000



Ryc. 12. Wizualizacja fragmentu pieczątki granicznej, linia 365 nm, filtr tłumiący zakres ok. od 700 do 940 nm, tryb – LO
Fig. 12. *Visualisation of fragment of border crossing stamp 365 nm line, range filter approx. 700-940 nm, LO mode*

Wnioski

Urządzenia do wieloimpulsowej rejestracji luminescencji opóźnionej wyprodukowane przez firmę LASAR ELEKTRONIKA są urządzeniami jednostkowymi wykonywanymi zgodnie z zamówieniem odbiorcy. Ma to dobre i złe strony. Jednostkowa produkcja powoduje, że niektóre elementy nie są w pełni dopracowane, a ich wymiana jest nieopłacalna ze względów finansowych. Z drugiej strony można urządzenie skonfigurować zgodnie z konkretnymi potrzebami zamawiającego.

W czasie pracy na urządzeniu będącym w wyposażeniu BBK ABW występują trudności związane z pozycjonowaniem próbki i ustawianiem ostrości. Czasami obserwuje się zjawisko przeświecania przez migawkę. W badaniach dużych próbek położenie oświetlacza powiązane z pozycją kamery znacząco zmniejsza moc oświetlenia próbki. Monochromatyczność kamery zubaża możliwość oceny rejestrowanych obrazów.

Przedstawione powyżej drobne mankamenty nie kwestionują zasadności prac nad rozwojem techniki wizualizacji śladów daktyloskopijnych w trybie LO, w oparciu o ww. urządzenie. Inne rozwiązania techniczne – urządzenia dysponujące większymi możliwościami detekcyjnymi – są dużo droższe.

W ujawnianiu śladów linii papilarnych na podłożu niechłonnym problemem jest adsorpcja TEC w podłożu. Nie udało się dobrać zadowalającego roztworu płuczącego.

W przypadku podłoży chłonnych, jak na razie, nie ma substancji ujawniających, umożliwiających stosowanie trybu LO w mikrosekundowych zakresach czasowych.

W pracach z dokumentami trzeba mieć duże doświadczenie, aby właściwie zinterpretować zarejestrowane obrazy. Dysponując jednak wzorcami, można w prosty sposób porównać elementy zabezpieczeń wykazujące luminescencje opóźnioną, co powinno ułatwić identyfikację.

Mimo przedstawionych problemów wydaje się, że próby wykorzystania luminescencji opóźnionej w wizualizacji śladów linii papilarnych na podłożach niechłonnych i chłonnych, wykazujących wielobarwną fluorescencję, są działaniem we właściwym kierunku. Zastosowanie filtracji czasowej jest nowatorskim rozwiązaniem poprawiającym wizualizację śladów opartą dotychczas tylko na filtracji optycznej. W niektórych przypadkach technika LO będzie jedyną metodą pozwalającą zarejestrować ujawniony ślad daktyloskopijny.

Celowym także wydaje się zastosowanie metody luminescencji opóźnionej w technicznej analizie dokumentów.

Bogdan Drabarek

Autor dziękuje za nadesłanie próbek do badań kolegom z Laboratorium Kryminalistycznego KWP w Rzeszowie.

BIBLIOGRAFIA

1. **Moszczyński J., Siejca A., Ziemnicki Ł.:** Optoelektroniczna metoda wizualizacji śladów daktyloskopijnych za pomocą luminescencji opóźnionej, „Problemy Kryminalistyki" 2007, nr 258, s. 50–55.

2. Przewodnik po metodach wizualizacji śladów daktyloskopijnych pod red. **M. Rybczyńskiej-Królik, M. Pękały**, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego KGP, Warszawa 2006, s. 76.

3. **Sock Koon Ong, Leong Keey Seah, Murukshan V.M., Lin Seng Ong:** Enhancing Fluorescence in Time-Resolved Imaging of Latent Fingerprints; „Journal of Forensic Identification", vol. 54, No. 4, 2004, s. 281–295.

Streszczenie

Obecnie stosowane luminescencyjne metody ujawniania śladów linii papilarnych bazują na filtracji optycznej. Nowa metoda oparta na zjawisku luminescencji opóźnionej (LO) wprowadza filtrację czasową. Dzięki temu można rejestrować świecenie specyficznie sensybilizowanego śladu daktyloskopijnego po zaniku luminescencji tła. Barierą dla rozwoju metody LO jest brak preparatów stosowanych do ujawniania śladów linii papilarnych, świecących dostatecznie długo, po wygaszeniu źródła promieniowania wzbudzającego. Jedyny obecnie dostępny chelat europu może być użyty tylko na podłoża niechłonne. Metoda luminescencji opóźnionej może znaleźć zastosowanie także w technicznej analizie dokumentów.

Słowa kluczowe: daktyloskopia, wizualizacja, luminescencja opóźniona, techniczna analiza dokumentów.

Summary

Presently used luminescent techniques of detecting latent finger marks are based on optical filtration. A new method (LO) based on the phenomenon of time resolved luminescence introduces time filtration. This allows recording specific luminescence of sensitised latent mark following facing of luminescence of background. An obstacle in development of LO method is lack of agents used for latent mark detection that emits luminescence long enough after extinguishing of the source of exciting radiation. The only one accessible agent – europium chelate can be only used on non-absorbent substrates. The time resolved luminescence method can be also used in technical analysis of documents.

Keywords: fingerprint examination, enhancement, time resolved luminescence, technical analysis of documents.