

Projekt badawczo-rozwojowy NANODAK

Ewa Rogoża¹

ORCID 0000-0002-5561-4726

Katarzyna Drzewiecka²

ORCID 0000-0002-6713-1844

¹ Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji, ewa.rogoza@policja.gov.pl

² Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji, katarzyna.drzewiecka@policja.gov.pl

Streszczenie

W ramach realizacji projektu badawczo-rozwojowego pt.: „Ujawnianie śladów linii papilarnych nanocząsteczkami wytwarzanymi przy użyciu technologii wysokich ciśnień” o akronimie NANODAK opracowano nowej generacji preparaty do ujawniania śladów linii papilarnych: NANODAK 30, NANODAK 40 i NANODAK 1. Nanodetekторы są bezpieczne dla ludzi i środowiska. Skuteczność nanodetektorów jest nie mniejsza niż stosowanego w praktyce proszku daktyloskopijnego argenteratu. Nowe preparaty nie mają negatywnego wpływu na inne metody wizualizacji śladów oraz na badania genetyczne. Nanodetekторы, będące nowej generacji środkami do ujawniania śladów linii papilarnych, mogą zostać zaimplementowane w docelowym środowisku, zwiększając potencjał możliwości wykrywczych organów ścigania oraz podnosząc komfort pracy ekspertów i techników kryminalistyki. Projekt został zrealizowany dzięki finansowaniu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Słowa kluczowe: nanodetekторы, nanocząsteczki, ślady linii papilarnych

Wstęp

Nanocząsteczki to bardzo małe cząstki o wielkości od jednego do stu nanometrów, czyli jednej miliardowej metra. Nie są one wykrywalne przez ludzkie oko. Większość nanocząstek składa się tylko z kilkuset atomów. Nanocząsteczki mogą wykazywać znacznie inne właściwości fizyczne i chemiczne niż ich większe odpowiedniki materiałowe. Zmiana właściwości wynika ze stosunkowo dużej powierzchni nanocząstek w porównaniu do ich objętości. Cecha ta umożliwia nanocząstkom posiadanie nieoczekiwanych właściwości optycznych, fizycznych czy też chemicznych, np. pojawienie się właściwości luminescencyjnych. Właściwości te wykorzystano podczas realizacji projektu badawczo-rozwojowego pt.: „Ujawnianie śladów linii papilarnych nanocząsteczkami wytwarzanymi przy użyciu technologii wysokich ciśnień” o akronimie NANODAK. Dla projektu zaprojektowano również logo (ryc. 1) oraz utworzono stronę internetową (ryc. 2).

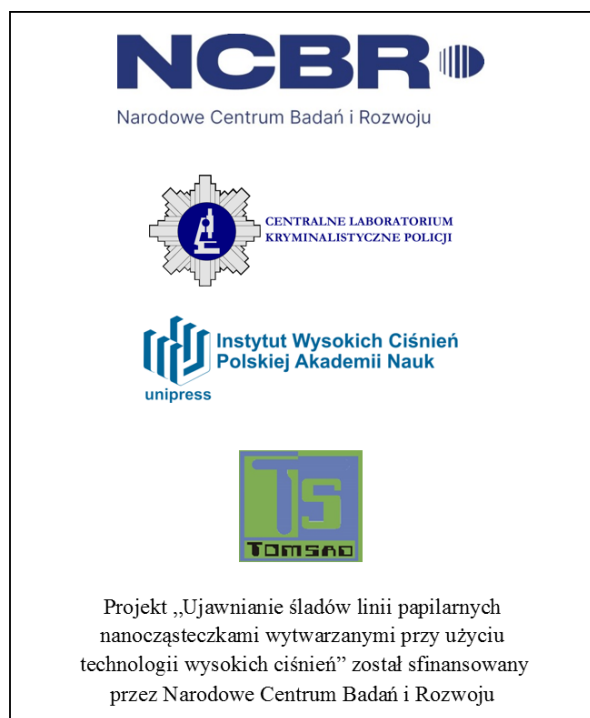


Ryc. 1. Logo projektu NANODAK



Ryc. 2. Strona internetowa projektu NANODAK

Projekt powstał dzięki dofinansowaniu z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach 9 Konkursu na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa. W skład konsorcjum realizującego projekt weszło Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji jako lider oraz partnerzy: Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk i firma TOMSAD Tomasz Sadowski (ryc. 3).



Ryc. 3. Znaki graficzne instytucji finansującej projekt NANODAK i wykonawców

Cel projektu

Celem głównym projektu było opracowanie nowych metod wizualizacji śladów linii papilarnych, opartych na wykorzystaniu nanocząstek.

Przebieg procesu badawczego

W pierwszym etapie jego realizacji wytypowano nanocząstki do badań daktyloskopijnych. Były to przede wszystkim nanocząstki wykazujące właściwości luminescencyjne, dzięki czemu podczas ujawniania śladów na podłożach, np. wielobarwnych, można uzyskać lepszy kontrast śladów z podłożem i poprawę ich czytelności.

Aby wzbudzić fluorescencję nanocząstek, należało opracować również ergonomiczne i wydajne źródło energii świetlnej. Zadania tego podjęła się firma TOMSAD. Prace rozpoczęto od wstępnego, doświadczalnego wyznaczenia zakresu i właściwości światła przydatnego do wzbudzenia luminescencji wytypowanych nanocząstek. Po wstępnym przebadaniu próbek w pełnym spektrum światła ultrafioletowego i widzialnego stwierdzono, że dalsze prace należało skupić na świetle ultrafioletowym o długości fali 360 nm i niebieskim o długości fali 410 nm, gdyż w tych zakresach badane nanocząstki ulegały wzbudzeniu.

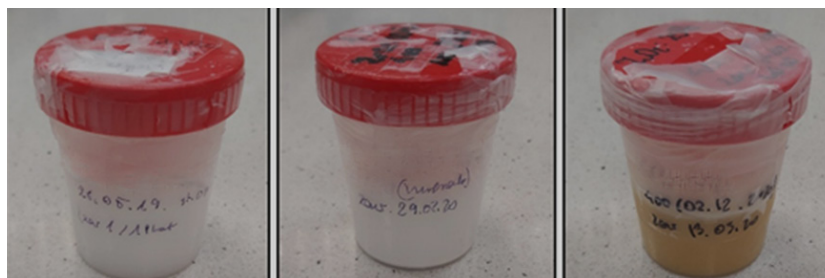
Ostatecznie opracowano zestaw oświetlaczy LED 360 nm, 410 nm oraz światła białego, dysponujących dużą, regulowaną dwustopniowo mocą świetlną (ryc. 4÷9). Oświetlacz światła białego wykonano na bazie promienników LED typu COB (Chip On Board), które zapewniły bardzo dobrą jednorodność wiązki świetlnej oraz relatywnie dużą moc, przy małych wymiarach promiennika. Każdy ze skonstruowanych oświetlaczy wyposażono we wbudowany przełącznik o zakresie działania 0%–50%–100%, zapewniający dwustopniową regulację mocy, zasilacz sieciowy 240 V oraz akumulator do pracy w terenie. Zaprojektowano i wykonano lekkie, ergonomiczne obudowy oświetlaczy, zdolne pomieścić promienniki, elektroniczne urządzenia sterujące oraz zapewnić dostateczne chłodzenie przewidzianymi do tego celu kanałami. W celu minimalizacji zjawiska odbicia światła zastosowano obudowy koloru czarnego. Cały zestaw oświetlaczy wraz z oprzyrządowaniem umieszczono w solidnej walizce transportowej, dającej dostateczną ochronę mechaniczną i przeciwwstrząsową. W walizce zaplanowano miejsce na cały zestaw oświetlaczy wraz z oprzyrządowaniem oraz dodatkowe miejsce na drobne narzędzia (pęsety, pędzelki itp.), według indywidualnych potrzeb użytkownika.



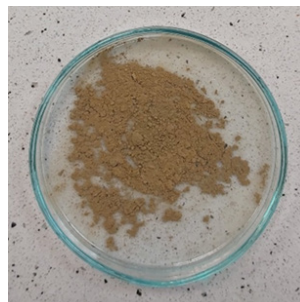
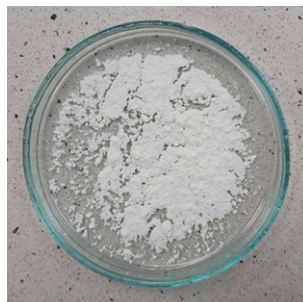


Ryc. 4÷9. Zestaw oświetlaczy LED z oprzyrządowaniem

Równoległe z pracami związanymi z konstruowaniem oświetlaczy LED zespoły projektowe CLKP i IWC PAN prowadziły prace nad formą i składem preparatów nanocząsteczkowych do ujawniania śladów linii papilarnych. Zdecydowano, aby nanocząsteczki luminescencyjne umieścić w zawiesinach wodnych, co pozwalało na ich bezpośrednie nanoszenie na badane powierzchnie, bez zbędnego rozprzestrzeniania się w powietrzu (ryc. 10÷12). Kontynuowano też badania nanocząstek w postaci proszkowej (ryc. 13, 14).



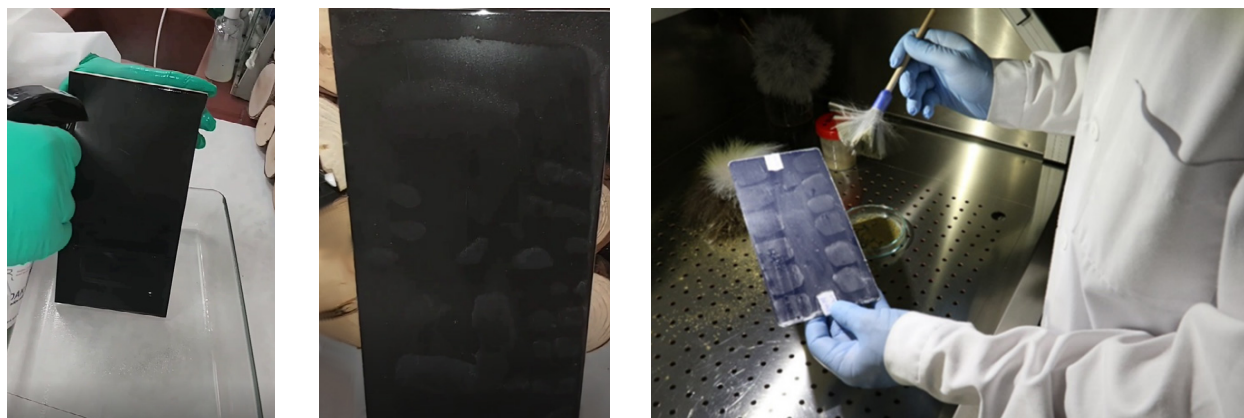
Ryc. 10÷12. Nanodetektory luminescencyjne w formie zawiesinowej



Ryc. 13, 14. Nanodetektory w formie proszkowej

W celu zapewnienia kontroli jakości tworzonych nanodetektorów oraz obiektywnej oceny skuteczności ich działania w detekcji śladów opracowano „Metodykę weryfikacji komponentów nanodetektorów”. Zgodnie z opracowaną metodyką podczas testów ślady nanoszone były w sposób kontrolowany na podłoża o odmiennych charakterystykach przez różnych dawców. Na potrzeby badań utworzono bank dawców śladów, w którym skategoryzowano dawców jako bardzo dobrych (kategoria A), dobrych (kategoria B) i słabych (kategoria C) wydzielaczy substancji potowo-tłuszczowej (śladotwórczej). Kategoryzacja dawców pozwoliła na sprawdzanie czułości testowanych preparatów.

Ślady nanoszono na podłoża określane w daktyloskopii jako standardowe, czyli o dużym stopniu gładkości, np. szkło, folia aluminiowa, ale także na podłoża trudne o znacznym stopniu chropowatości, np. płyta meblowa, materiał skóropodobny (ryc. 15÷17). Pozwoliło to na ocenę skuteczności poszczególnych preparatów w zależności od rodzaju i struktury podłoża.



Ryc. 15÷17. Nanoszenie nanodetektorów na podłoża

Badane próbki z naniesionymi śladami odpowiednio oznaczano, ślady były ujawniane testowanymi preparatami, a następnie poddawane badaniom makroskopowym w świetle białym i fluorescencyjnym w zakresie światła ultrafioletowego UV i w pierwszym etapie badań w zakresie światła widzialnego VIS od 380 do 780 nm. Po ustaleniu, że nanodetektory wykazują najlepszą fluorescencję w zakresie światła 360 nm i 410 nm (światło niebieskie) dalszą obserwację śladów prowadzono tylko w tych zakresach.

Ocenie poddawano trzy parametry testowanych preparatów:

- przyleganie preparatu do śladów (P),
- równomierność przylegania do śladów (R),
- czytelność ujawnionych śladów (C).

Przyjęto zero-jedynkowy system oceny. W stosunku do wartości P – ocena 1 oznaczała, że testowany preparat przyległ do śladu, dla wartości R – ocena 1 oznaczała, że przyleganie do śladu było równomierne, a w przypadku czytelności oznaczonej w skrócie literą C – ocenę 1 otrzymywał ślad posiadający dwanaście i powyżej dwunastu cech szczególnych, nadający się do identyfikacji. Wyniki zapisywano w arkuszach kalkulacyjnych i poddawano analizie.

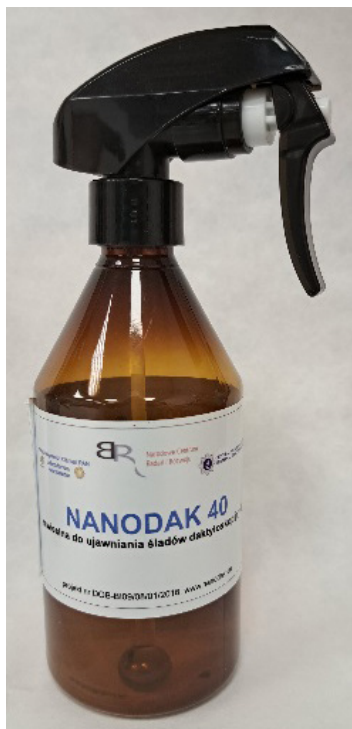
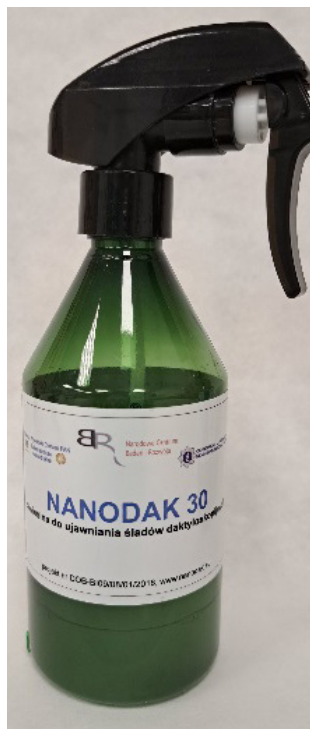
Ocenę pozytywną uzyskiwały preparaty, dla których jednocześnie trzy wartości P/R/C osiągały wynik \geq (większy lub równy) 80%.

Zespół projektowy CLKP w pierwszym etapie realizacji projektu przebadał preparaty przygotowane przez IWC PAN o zmiennych parametrach, takich jak:

- koncentracja nanocząstek bazowych w zawiesinie,
- koncentracja domieszek nanocząstek pierwiastków potęgujących luminescencję,
- wielkość nanocząstek,
- domieszkowanie nanocząstek bazowych pierwiastkami metali.

Spośród kilkudziesięciu wariantów preparatów, biorąc pod uwagę zarówno efekty ujawniania śladów daktyloskopijnych, jak i intensywność ich fluorescencji, jako prototypy wytypowano ostatecznie trzy nanodetektory (ryc. 18÷20), które nazwano:

- NANODAK 30/ND1 (nanodetektor w formie zawiesiny),
- NANODAK 40/ND2 (nanodetektor w formie zawiesiny),
- NANODAK 1/NP (nanodetektor w formie proszkowej).

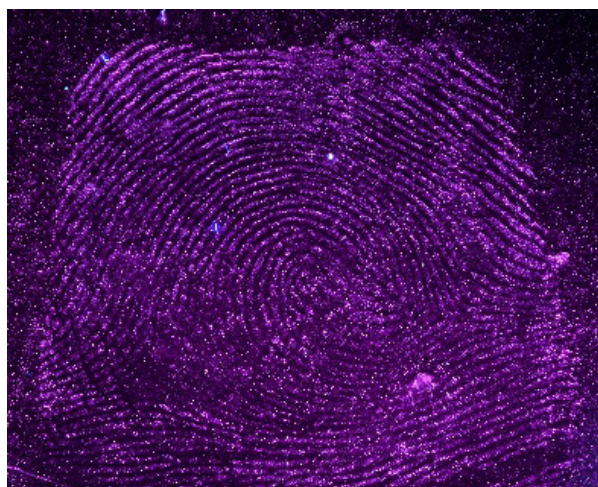


Ryc. 18÷20. Prototypy nanodetektorów

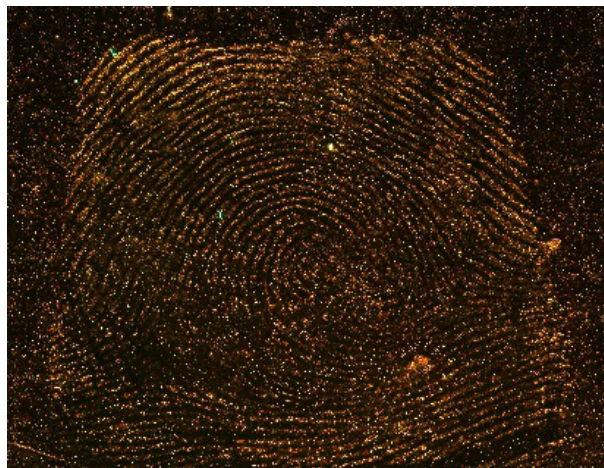
Przykłady śladów ujawnionych prototypami nanodetektorów NANODAK 30, NANODAK 40, NANODAK 1 przedstawiono na ryc. 21÷43.



Ryc. 21. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawiesiną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle białym



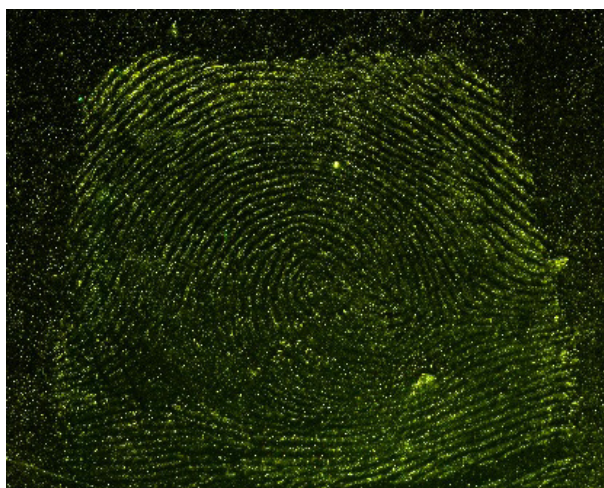
Ryc. 22. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawiesiną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z bezbarwnym filtrem



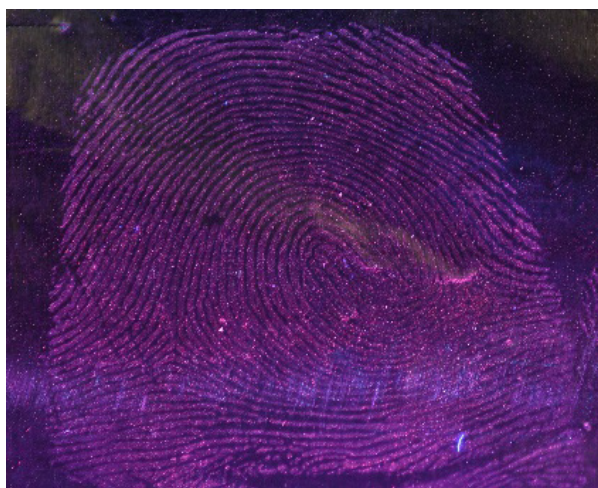
Ryc. 23. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z żółtym filtrem



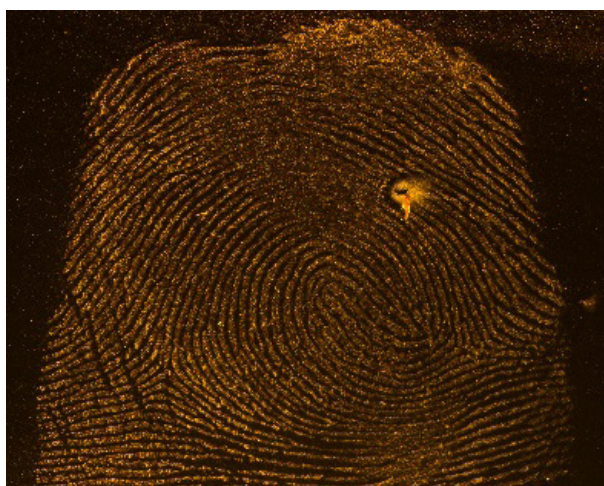
Ryc. 26. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle białym



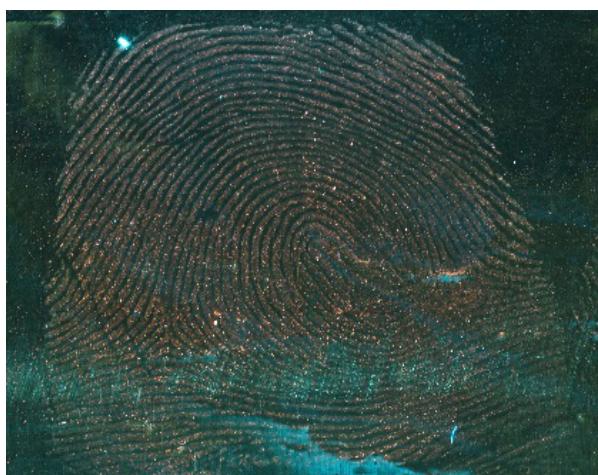
Ryc. 24. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z żółtym filtrem



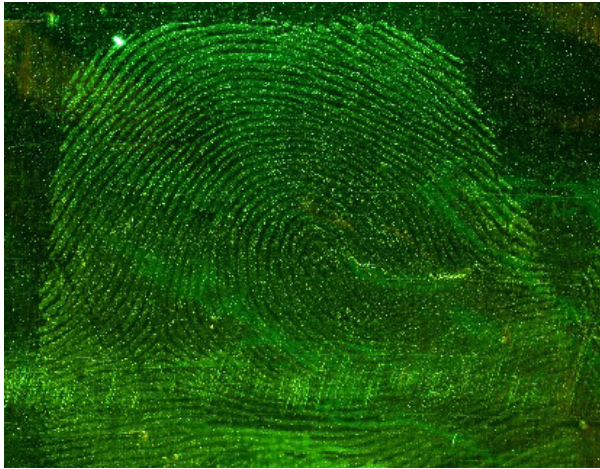
Ryc. 27. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z bezbarwnym filtrem



Ryc. 25. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z pomarańczowym filtrem



Ryc. 28. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z żółtym filtrem



Ryc. 29. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z żółtym filtrem



Ryc. 32. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z bezbarwnym filtrem



Ryc. 30. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 30, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z pomarańczowym filtrem



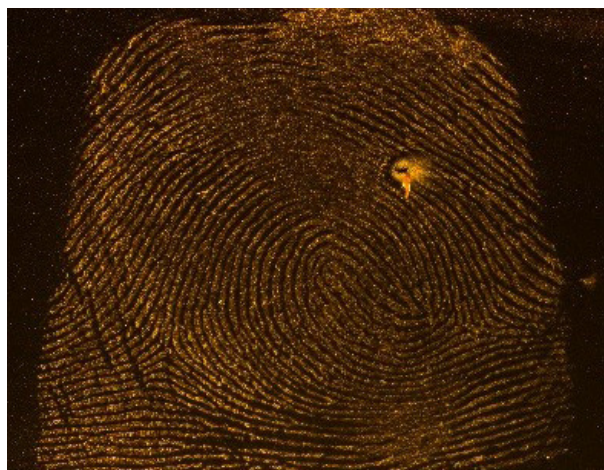
Ryc. 33. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z żółtym filtrem



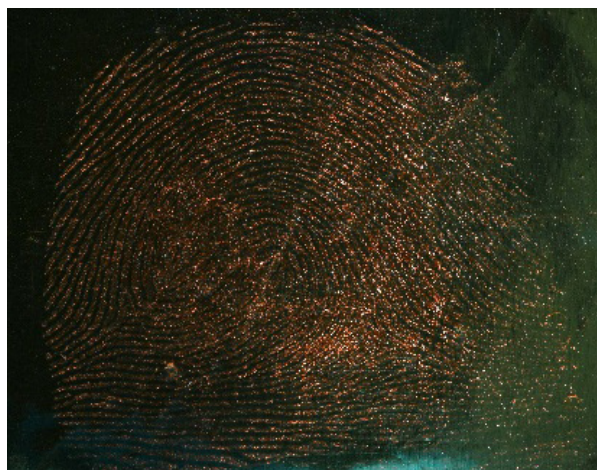
Ryc. 31. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle białym



Ryc. 34. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawieszoną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z żółtym filtrem



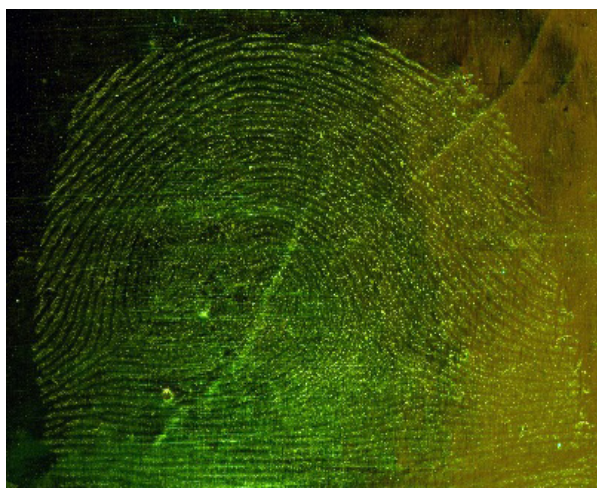
Ryc. 35. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawiesiną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z pomarańczowym filtrem



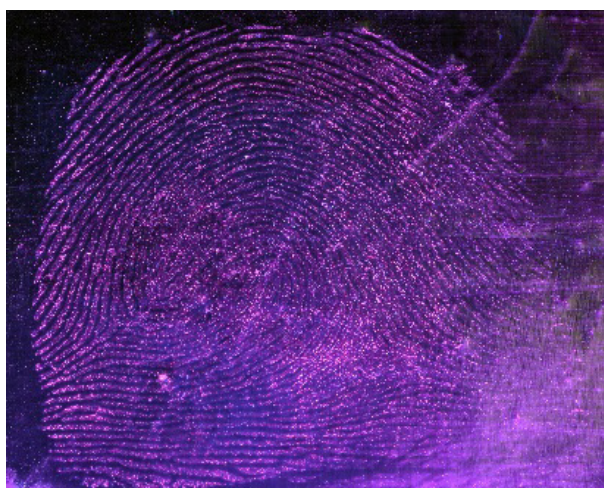
Ryc. 38. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawiesiną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z żółtym filtrem



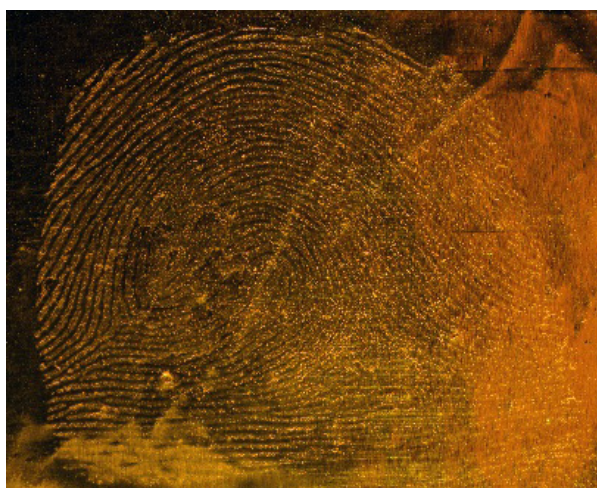
Ryc. 36. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawiesiną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle białym



Ryc. 39. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawiesiną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z żółtym filtrem



Ryc. 37. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej zawiesiną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle UV o długości fali 360 nm, z bezbarwnym filtrem



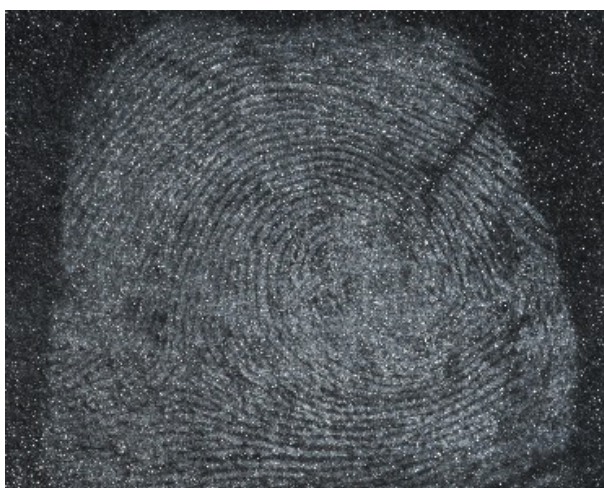
Ryc. 40. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej zawiesiną NANODAK 40, zarejestrowany w świetle niebieskim o długości fali 410 nm, z pomarańczowym filtrem



Ryc. 41. Ślad linii papilarnych ujawniony na płytce ceramicznej nanoproszkiem NANODAK 1, zarejestrowany w świetle białym



Ryc. 42. Ślad linii papilarnych ujawniony na folii aluminiowej nanoproszkiem NANODAK 1, zarejestrowany w świetle białym

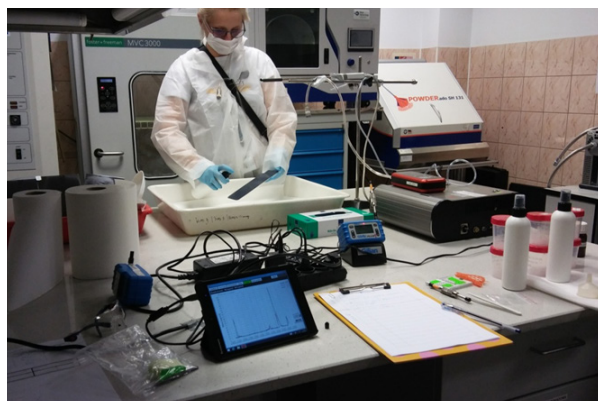


Ryc. 43. Ślad linii papilarnych ujawniony na tekturowej teczce ujawniony nanoproszkiem NANODAK 1, zarejestrowany w świetle białym

Po przeprowadzeniu szeregu testów dla nanodetektorów wybrano optymalne aplikatory. Dla nanodetektorów zawieszinowych atomizer wykonany z wysokiej jakości tworzywa sztucznego, posiadający wężyk zakończony obciążnikiem w kształcie metalowej kulki. Dzięki takiemu rozwiązaniu po zamieszaniu i wstrząśnięciu zawartości butelki uzyskiwano jednolitą zawiesinę. Do aplikacji nanodetektora proszkowego optymalny okazał się płaski pędzel z włosia wiewiórki o szerokości 3 cm.

Część prac projektowych poświęcono również na wybór optymalnego sposobu zabezpieczania śladów ujawnionych nanodetektorami. W pierwszej kolejności podjęto próbę przenoszenia śladów na folie daktyloskopijne. Jednak jeśli nawet udało się zabezpieczyć ślady na folii, to po krótkim czasie nanocząstki wnikały w jej żelatynową warstwę. Najlepszym sposobem rejestracji było wykorzystanie systemu TrasoScan lub aparatu fotograficznego.

Jednym z założeń projektu było bezpieczeństwo pracy z nanodetektorami. Badania środowiskowe (ryc. 44, 45) pomiaru stężenia nanocząstek w powietrzu podczas nanoszenia preparatów na podłoża wykonał Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.



Ryc. 44, 45. Badania środowiskowe

Średnie stężenie nanocząstek podczas aplikacji natryskowej było bardzo niskie w stosunku do dopuszczalnego najwyższego stężenia NDS. Podczas aplikacji nanoproszku pędzlem jego opad był stosunkowo szybki, a emisja miała krótki zasięg. Wykonano również pomiary stężenia proszku daktyloskopijnego – argenteratu. Pomiary wykazały jego znaczną emisję i długi czas utrzymywania się w powietrzu.

Potwierdzenie bezpieczeństwa pracy z nanodetektorami stanowiło kamień milowy w projekcie i pozwoliło na podjęcie kolejnego zadania, jakim była ich walidacja. Nanodetektory zostały zwalidowane w zakresie podstawowym oraz powtarzalności, odtwarzalności i czułości, w dwóch przedziałach czasowych: dwutygodniowym i dwumiesięcznym. Uzyskane wyniki badań dały podstawę do stwierdzenia, że nanodetektory spełniły wymagania odnośnie do skutecznego ujawniania śladów linii papilarnych.

Podczas badań wizualizacyjnych obowiązuje zasada stosowania kilku wzajemnie uzupełniających się metod oraz kolejności ich zastosowania. O żadnej ze znanych metod nie można powiedzieć, że może ujawnić wszystkie możliwe do ujawnienia ślady. Jeśli nawet jakaś z metod wyróżnia się dużą skutecznością, to istnieje szansa na ujawnienie nowych śladów lub poprawę czytelności już ujawnionych, stosując kolejną. Zasadne zatem było postawienie pytania: czy po użyciu nanodetektorów możliwe jest zastosowanie innych metod wizualizacji śladów? W celu uzyskania odpowiedzi na powyższe pytanie wykonano badania w sekwencji:

- nanodetektor zawieszinowy – polimeryzacja cyjanoakrylanów – Basic Yellow 40,
- nanodetektor proszkowy – polimeryzacja cyjanoakrylanów – Basic Yellow 40.

Badania wykonano w dziesięciu seriach, co pozwoliło na ocenę powtarzalności całego procesu. Stwierdzono, że nanodetektory nie mają negatywnego wpływu na zastosowanie w dalszej kolejności badań daktyloskopijnych innych technik wizualizacji śladów linii papilarnych.

Przy wizualizacji śladów linii papilarnych istotne jest, jak „stare” ślady może ujawnić dany preparat. Dlatego też takie badania przeprowadzono dla nowo opracowanych nanodetektorów. Przygotowane ślady testowe przechowywano w warunkach pokojowych i w dwutygodniowych odstępach czasu na próbki nanoszono preparaty. Badania kontynuowano przez okres siedmiu miesięcy. Zaobserwowano, że ślady sześciomiesięczne ujawnione nanodetektorami wykazywały słabą ostrość ze względu na „rozmycie” linii papilarnych.

Odbiorcy, wykorzystując różne preparaty, zwracają uwagę na termin ich przydatności do użycia. Zatem w przypadku nanodetektorów przeprowadzono również badania zmierzające do określenia ich stabilności. Stwierdzono, że trwałość preparatów wynosi co najmniej 12 miesięcy.

Ze względu na obecne kompleksowe podejście do badań kryminalistycznych materiałów dowodowych zbadano również wpływ nanodetektorów na pozyskanie materiału genetycznego ze śladów linii papilarnych ujawnionych nanodetektorami. Nie zaobserwowano powtarzalnego negatywnego wpływu nanodetektorów na jakość otrzymanych wyników badanego DNA, znajdującego się w naniesionym materiale biologicznym. Dodatkowo, otrzymane wyniki wskazały, że użyte nanodetektory nie wpływają na analizę materiału genetycznego uzyskanego z pojedynczych śladów biologicznych, występującego nawet w małych ilościach, oraz gdy w badanej próbie występuje DNA więcej niż jednej osoby.

Ostatnim etapem realizacji projektu było przeprowadzenie badań nanodetektorów w warunkach rzeczywistych. Demonstracja nowej technologii (ryc. 46÷50) została przeprowadzona przez niezależnych biegłych według wcześniej opracowanego scenariusza. Badania przeprowadzono na różnych przedmiotach użytkowych, będących odzwierciedleniem materiałów dowodowych najczęściej spotykanych na miejscu zdarzenia lub nadsyłanych do laboratoriów kryminalistycznych. Ujawnianiu nanodetektorami poddano naturalne ślady potowo-tłuszczowe, powstałe w wyniku zwykłego użytkowania przedmiotów. Ze względu na wykorzystanie podczas badań przedmiotów, na których ślady powstawały w wyniku zwykłego ich użytkowania, wiek poszczególnych śladów nie był znany.

Materiał do badań został przygotowany poprzez skolekcjonowanie używanych przedmiotów z wielu różnych źródeł, bez pozostawiania dodatkowych śladów. Zebrano typowe przedmioty o powierzchniach niechłonnych i semiporowatych, np.: butelki, pojemniki, opakowania, taśmy, itp. Na podłoża nanoszono odpowiednie nanodetektory oraz dla porównania obecnie stosowany w praktyce proszek daktyloskopijny – argenterat, po czym przeprowadzono badania makroskopowe. Dokonywano ilościowej oceny efektów ujawniania, zliczając wszystkie ujawnione ślady ujawnione poszczególnymi nanodetektorami (kryteria oceny: 0 – nie ujawniono śladu, 1 – ujawniono ślad linii papilarnych). Przedstawione w tab. 1 liczby ujawnionych śladów są sumą śladów nadających się do identyfikacji i śladów niekwalifikujących do badań porównawczych.



Ryc. 46÷50. Badania nanodetektorów w warunkach rzeczywistych

Na skolekcjonowanych do badań przedmiotach codziennego użytku ujawniono ślady linii papilarnych zarówno nanodetektorami, jak i proszkiem daktyloskopijnym – argentoratem. Największą liczbę śladów ujawniono po zastosowaniu nanodetektora zawiesinowego NANODAK 40. W przypadku nanodetektora zawiesinowego NANODAK 30 liczba ujawnionych śladów była porównywalna z argentoratem. Nanodetektorem proszkowym NANODAK 1 największą liczbę śladów ujawniono na szklanych butelkach, płytach CD i taśmie samoprzylepnej.

Ogólna liczba ujawnionych nanodetektorami śladów linii papilarnych świadczy o tym, że nowa technologia odniosła zamierzony efekt w warunkach rzeczywistych.

Tab. 1. Wyniki zbiorcze badań preparatów w warunkach rzeczywistych

Nazwa przedmiotu	Nazwa preparatu/liczba ujawnionych śladów			
	ND1	ND2	NP	Argentorat
Czarny talerz	33	41	30	36
Szklana brązowa butelka	57	59	67	59
Płyta CD	28	31	33	30
Taśma samoprzylepna koloru srebrnego	29	35	41	33
Szklany pojemnik przezroczysty	33	32	22	17
Płytk ceramiczna czarna	43	45	39	42
Opakowanie na płytę CD	31	33	28	28
Szklana butelka przezroczysta	42	44	39	43
Taca	29	38	30	28
Spryskiwacz	48	52	48	41
Suma	373	410	377	357

■ preparat najlepszy ■ preparaty porównywalne

Podsumowanie

W ramach realizacji projektu badawczo-rozwojowego pt.: „Ujawnianie śladów linii papilarnych nanocząsteczkami wytwarzanymi przy użyciu technologii wysokich ciśnień” opracowano nowej generacji preparaty do ujawniania śladów daktyloskopijnych oparte na nanocząstkach, m.in. o właściwościach luminescencyjnych. Luminescencja nanodetektorów wzbudzana jest dedykowanymi, opracowanymi również w ramach realizacji projektu wydajnymi i ergonomicznymi oświetlaczami LED. Badania środowiskowe nanodetektorów wykazały, że są one bezpieczne dla ludzi i środowiska, w przeciwieństwie do argenteratu. Skuteczność nanodetektorów jest nie mniejsza niż stosowanego w praktyce proszku daktyloskopijnego argenteratu. Nowo opracowane preparaty nie mają negatywnego wpływu na inne metody wizualizacji śladów. Nie mają również negatywnego wpływu na badania genetyczne. Nanodetektory są łatwe w aplikacji, a w razie konieczności można je usunąć z badanych powierzchni. Nanodetektory, będące nowej generacji środkami do ujawniania śladów linii papilarnych, mogą zostać zaimplementowane w docelowym środowisku, zwiększając potencjał możliwości wykrywczych organów ścigania oraz podnosząc komfort pracy ekspertów i techników kryminalistyki.

Źródła rycin: autorki