

## Wykorzystanie nowoczesnych technologii do badania włosów celem uzyskania informacji o popełnionym przestępstwie

Najbogatszym źródłem wiedzy o popełnionym przestępstwie i jego sprawcy jest miejsce zdarzenia, gdzie zabezpieczane zostają różnego rodzaju ślady, w tym te często niewidoczne gołym okiem – ślady biologiczne. Do tej grupy dowodów należą przede wszystkim tkanki (np. krew, włosy, naskórek), wydzieliny (np. ślina, pot) i wydaliny (np. mocz). W odróżnieniu od innych śladów biologicznych, włosy posiadają specyficzne właściwości, dzięki którym są bardziej odporne na działanie czynników zewnętrznych, takich jak temperatura, woda czy wilgotność powietrza. Tkanka włosowa cechuje się nadto maksymalnie spowolnionym procesem rozkładu oraz dużą odpornością na szkodliwe oddziaływanie środowiska. Szczególnie ważna z punktu widzenia badań kryminalistycznych jest ich odporność na oddziaływanie mikroorganizmów rozkładu gnilnego, takich jak bakterie, pleśnie czy grzyby, które przyczyniają się do rozkładu, a co za tym idzie analitycznej bezużyteczności pozostałych śladów biologicznych. O ile zatem sprawca jest w stanie zatrzeć za sobą większość śladów swego działania, o tyle w kwestii włosów pozostaje niemal bezsilny. Taka łatwość dostępu do materiału dowodowego działa także w odwrotną stronę, niesprzyjającą bowiem z punktu widzenia prowadzonego postępowania właściwością włosów jest ich niewielki ciężar, powodujący łatwość ich przenoszenia, np. przez wiatr<sup>1</sup>. Niejednokrotnie są one niedocenianym źródłem dowodowym, a nie można wszakże zapominać, że zawarty jest w nich ogromny potencjał badawczy. Na potrzeby niniejszego artykułu przedstawione zostanie wykorzystanie trzech nowoczesnych technologii w badaniach kryminalistycznych włosów ludzkich, a mianowicie: skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), spektrometru ruchliwości jonów (IMS), a także doskonalszej formy molekularnych testów genetycznych, jaką jest fluorescencja w hybrydyzacji *in situ* (FISH).

Skaningowy mikroskop elektronowy (ang. *Scanning Electron Microscope* – SEM) jest przydatny w wielu dziedzinach nauki. Ten uniwersalny przyrząd analityczny wyróżnia się przede wszystkim wysoką jakością obrazu, czułością, dokładnością, głębią ostrości i rozdzielczości. Umożliwia poznanie istotnych cech mikrostruktury powierzchni

---

<sup>1</sup> R. Włodarczyk, *Historia, teraźniejszość i perspektywy kryminalistycznych badań włosów ludzkich*, Szczytno 2007, s. 86–88.

badanego śladu, co jest utrudnione, a czasem wręcz niemożliwe przy użyciu innych tego rodzaju urządzeń. Zastosowanie mikroskopów skaningowych wynika głównie z istniejącej potrzeby zdobycia informacji z najdrobniejszych śladów. Dzięki dużym powiększeniom, rzędu kilkudziesięciu do kilku tysięcy razy, aparatura ta wykazuje ogromne możliwości poznawcze, a także skraca, ułatwia i wzbogaca proces analizy. Często zły stan zabezpieczonych włosów nie pozwala na poznanie ich kodu genetycznego, jednak wysoko rozwinięta technika elektronowa i komputerowa wypełnia tę istniejącą w ogniwie dowodowym lukę. Zasada działania mikroskopu skaningowego polega na przesuwaniu niewielkiej wiązki elektronów (o średnicy ok. 0,1 nanometra) po powierzchni próbki, dokładnie linia po linii. Próbka jest umieszczona na aluminiowym stoliku, wcześniej oklejonym taśmą węglową, na której po usunięciu części ochronnej umieszcza się materiał do badania<sup>2</sup>. Wyróżnia się cztery rodzaje mikroskopów skaningowych: konwencjonalne (SEM HV), z emisją polową (SEM FE lub FGE), z niską (SEM LV) albo zmienną próżnią (SEM VP) oraz środowiskowe (ESEM)<sup>3</sup>. Te ostatnie należą do najnowocześniejszych; są w pełni cyfrowe i skomputeryzowane. Cechuje je wysoki poziom automatyzacji, szerokie możliwości cyfrowej obróbki obrazu, duża dokładność, stabilność pracy i uniwersalność. Pierwszy model takiego mikroskopu powstał w 1999 r. i co chyba najistotniejsze, nie wymaga on w odróżnieniu od pozostałych mikroskopów skaningowych skomplikowanych czynności wstępnych, takich jak odwadnianie, suszenie, zamrażanie itp. Mikroskop należący do tej grupy znajduje się na wyposażeniu Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Wojewódzkiej Policji w Gdańsku. Z kolei skaningowy mikroskop elektronowy konwencjonalny (SEM HV) zapewnia dużą dokładność – posiada doskonałe parametry do badań analitycznych, daje obrazy najwyższej jakości oraz wyróżnia go wysoki stopień automatyzacji<sup>4</sup>. Mikroskop z tej grupy znajduje się w Centralnym Laboratorium Kryminalistycznym Komendy Głównej Policji w Warszawie. Wszechstronny i wielozadaniowy system analityczny tworzą skaningowy mikroskop elektronowy ze spektrometrem rentgenowskim z dyspersją energii EDX<sup>5</sup>. Duet ten rozszerza zakres badań śladów kryminalistycznych dzięki bezbłędności komunikowania i lokalności analizy, co oznacza, że możliwe jest zbadanie części o mikroskopijnych rozmiarach, a pomiar będzie bardzo dokładny, natomiast badany obiekt nie ulegnie zniszczeniu, dzięki czemu będzie możliwe ponowne wykorzystanie materiału do dalszych badań<sup>6</sup>.

<sup>2</sup> R. Włodarczyk, *Kryminalistyczne badanie włosów ludzkich przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM)*, Szczytno 2006, s. 5–7.

<sup>3</sup> *Ibidem*, s. 9.

<sup>4</sup> *Ibidem*, s. 12.

<sup>5</sup> *Ibidem*, s. 15.

<sup>6</sup> *Ibidem*, s. 17.

Dzięki mikroskopii skaningowej możliwe jest dokładne poznanie morfologii włosa, rodzaju i rozmiaru uszkodzeń tkanki włosowej, rozpoznanie rodzaju narzędzia lub czynnika oddziałującego na włosy, określenie zmian strukturalnych czy przeprowadzenie analizy składu chemicznego. Możliwość „zajrzenia” w głąb struktury włosa przy użyciu tej nowoczesnej aparatury pozwala na ustalenie istotnych okoliczności konkretnego zdarzenia. Dodatkową zaletą tego sprzętu jest to, że ani mycie, ani inna pielęgnacja włosów nie ma wpływu na wynik analizy elektronowej jego składu mineralnego. SEM daje gwarancję określenia w sposób jednoznaczny, czy włos został wyrwany siłą, wypadł samostannie na skutek zmian degradacyjnych, czy został uszkodzony jakimś narzędziem. Podczas wyrwania część cebulki (często także cała) pozostaje w torebce włosowej. Na wyrwanych włosach brakuje błony szklistej, a łuseczki kutikuli mają zdeformowane dachówki. Z kolei włosy wypadłe samostannie charakteryzują się zrogowaciałą, skurczoną oraz suchą cebulką<sup>7</sup>. SEM umożliwia ponadto identyfikację narzędzia, nie tylko grupową, ale także indywidualną. Końcówki włosów powstałe przez odcięcie wykazują cechy działającego narzędzia. Tak więc przedmiot ostry (np. skalpel, nóż, siekiera) charakteryzuje poprzeczne lub skośne przecięcie w stosunku do osi włosa. Intensywniejszy obraz uszkodzeń zostawiają narzędzia tępe lub tępokrawędziste (piła, młotek). Widoczne są: nierówna płaszczyzna cięcia (zygzakowata, schodkowa), rozłupania o wyglądzie przypominającym frędzle, zmiażdżone, pogrubione, spłaszczone trzony włosów o kształcie przypominającym wachlarz. Możliwe jest także stwierdzenie na powierzchni włosa obecności innego nadającego się do identyfikacji biologiczno-chemicznej materiału, tj. krwi, śliny, drobin, fragmentów naskórka, włókien i innych mikrośladów<sup>8</sup>.

Najbardziej wartościowym materiałem pod względem badawczym są włosy z okolic głowy, ponieważ prześledzić można na nich cały cykl fizjologiczny. Od zewnątrz włos otoczony jest powłoczką, na którą składa się pojedyncza warstwa komórek płaskich – łusek kutikuli, których kształt, wielkość i ułożenie są cechą charakterystyczną każdego człowieka. Białko zawarte we włosach, zwane keratyną, posiada zdolność do łatwego wiązania się z biopierwiastkami, co oznacza, że gromadzi trwale wiele związków. Analiza białka we włosach odzwierciedla w sposób bardzo precyzyjny ogólny stan zdrowia osoby, ponieważ sposób wiązania biopierwiastków przez tworzące się białko tkanki włosowej jest zależny od składu przyjmowanego pożywienia<sup>9</sup>.

SEM umożliwia także w szybki sposób zbadanie składu chemicznego włosa pod kątem występowania narkotyków i innych środków. Analiza składu pierwiastkowego włosa pozwala na określenie źródła pochodzenia środka odurzającego i poznanie bliżej

<sup>7</sup> *Ibidem*, s. 55–57.

<sup>8</sup> *Ibidem*, s. 55–62.

<sup>9</sup> I. Sołtyszewski (red.), *Badania kryminalistyczne (wybrane aspekty)*, Olsztyn 2007, s. 16–17.

okoliczności badanej sprawy. Substancje odurzające rozkładają się na poszczególnych odcinkach włosa, podobnie zresztą jak trucizny. Dzięki temu możliwe jest odróżnienie, czy narkotyku użyto jednorazowo czy wielokrotnie. Inne próbki takie jak mocz, krew lub ślina pozwalają na odtworzenie przyjmowania zażytego środka zaledwie do kilku dni wstecz. Z kolei włos im jest dłuższy, tym daje większą możliwość „sięgania” wstecz do składu pierwiastkowego – możliwe jest odtworzenie przyjmowania specyfiku przez kilka, a nawet więcej miesięcy<sup>10</sup>. Radioimmunologiczna metoda badawcza, polegająca na analizie poprzecznie przeciętych fragmentów włosa, umożliwia określenie przyjętej dawki narkotyku. Włosy rosną ze średnią prędkością około 1 cm na miesiąc. Żyją średnio od 3 do 6 lat, u kobiet nieco dłużej, po czym wypadają, a na ich miejsce wyrastają nowe. Wzrost przebiega w sposób cykliczny; wyróżnia się trzy etapy: faza anagenowa (wzrost włosa), faza katagenowa (zatrzymanie wzrostu) i faza telogenowa (faza spoczynkowa)<sup>11</sup>. Zatem na włosie o długości 4–6,5 cm można odczytać stosowanie narkotyków w ciągu co najmniej 4–5 miesięcy. Badania przeprowadzone przez Centralne Laboratorium Kryminalistyczne KGP w Warszawie na kobiecie, która przez okres 2 lat przyjmowała leki cytostatyczne, a przez 20 miesięcy dożylnie morfinę, wykazały degradacyjny wpływ tych środków na tkankę włosową. Nastąpiło osłabienie masy korzeniowej, zmiany strukturalne całej tkanki oraz zahamowanie fazy wzrostu. Środki te zmusiły włosy do odbicia szybszego cyklu fizjologicznego, a więc przyspieszonego procesu starzenia, co tłumaczy ich wypadanie<sup>12</sup>. Analizy mikroskopowe z udziałem SEM są w stanie w sposób bardzo szybki i niezwykle precyzyjny ustalić, czy sprawca znajdował się pod wpływem substancji odurzających w czasie popełnienia przestępstwa.

Uszkodzenia włosów spowodowane użyciem broni palnej są dalece charakterystyczne. Dym prochowy po wystrzale osadza się bowiem na ręce, włosach, ubraniu strzelającego, jak i skórze, włosach oraz odzieży ofiary. Mając do dyspozycji więcej cząstek prochu, można określić rodzaj amunicji, a co za tym dalej idzie, także rodzaj broni. W korzystnych warunkach i dystansie nie większym niż 140 cm można określić z dokładnością do 1 cm odległość oddania strzału<sup>13</sup>. Włosy, nawet gdy tkanki zwłok ofiary ulegną już procesom gnilnym, pozwalają na ustalenie postrzału, lokalizacji otworu wlotowego, charakteru uszkodzenia, pozycji osoby pokrzywdzonej w momencie strzału, a także miejsca, z którego oddano strzał. Informacje te, analizowane przy pomocy nowoczesnej aparatury, mogą pomóc w ustaleniu przebiegu konkretnego zdarzenia. W Centralnym Laboratorium Kryminalistycznym KGP w Warszawie przeprowadzono

<sup>10</sup> M. Goc, J. Moszczyński (red.), *Ślady kryminalistyczne. Ujawnianie, zabezpieczanie, wykorzystanie*, Warszawa 2007, s. 128–129.

<sup>11</sup> *Ibidem*, s. 131.

<sup>12</sup> R. Włodarczyk, *Kryminalistyczne...*, *op. cit.*, s. 42–54.

<sup>13</sup> *Ibidem*, s. 63–66.

badanie polegające na oddaniu strzału z trzech odległości (10 cm, 30 cm i 150 cm) do próbek zawierających duże partie włosów. Wnioski były takie, że w miarę zwiększania odległości zmniejszała się liczba powystrzałowych mechanicznych i termicznych uszkodzeń powierzchni włosów, zwiększała się natomiast ilość nawarstwianej sadzy<sup>14</sup>.

Uszkodzenia termiczne włosów obserwowane przy pomocy SEM charakteryzują się szernieniem płaszczyzny łodyg, występowaniem grudkowatych, wrzecionowatych zgrubień „pereł keratynowych”, rozłożonych w zależności od centrum działania czynnika cieplnego, czasu trwania czy stopnia natężenia temperatury. Włosy wykazują także dużą chłonność, jeśli chodzi o żrące substancje chemiczne, takie jak silne zasady i stężone kwasy<sup>15</sup>.

Zmiany pośmiertne zachodzące we włosach, a przeanalizowane przy użyciu SEM, dają ważne wskazówki w przypadku odnalezienia szczątków ludzkich – mogą być pomocne przy ustalaniu przyczyny śmierci czy ewentualnego przemieszczania zwłok. Istotne są różnice w wyglądzie włosów przebywających długo np. w wodzie, wilgotnych glebach czy grobowcach. Jako że tkanka włosowa charakteryzuje się spowolnionym procesem rozkładu, możliwe stały się nawet analizy włosów pochodzących z okolic głowy mumii władców starożytnego Egiptu<sup>16</sup>.

Drugą z omawianych nowoczesnych metod badawczych jest wykrywanie materiałów wybuchowych we włosach za pomocą spektrometru ruchliwości jonowej (ang. *Ion Mobility Spectrometry* – IMS). Urządzenie to zostało skonstruowane na początku lat siedemdziesiątych pod nazwą chromatografu plazmowego. Z upływem czasu stało się ważnym analitycznym narzędziem do wykrywania nie tylko materiałów wybuchowych, ale także środków zanieczyszczenia środowiska naturalnego i narkotyków. Instrument ten pozwala na szybkie i nieinwazyjne wykrycie materiałów wybuchowych, co tłumaczy jego zastosowanie w takich miejscach jak lotniska, przejścia graniczne, gmachy rządowe itp. Zanieczyszczenie włosów materiałami wybuchowymi może nastąpić w różny sposób: w interakcji z fazą gazową, przez bezpośredni kontakt z cząsteczkami materiału wybuchowego albo przez wtórny kontakt pośredniego przeniesienia cząsteczek z rąk na włosy<sup>17</sup>. Analiza włosów ludzkich jest stosunkowo nową dziedziną zastosowania IMS, jednakże prężnie się rozwijająca.

Warto przedstawić pokrótce wyniki niezmiernie ciekawych badań, jakie przeprowadził J.C. Oxley wraz ze swymi współpracownikami. Zbadali oni bowiem interakcję włosów z materiałami wybuchowymi przez fazę gazową. Przedmiotem badań były konwencjonalne materiały wybuchowe, takie jak trójnitrotoluen (TNT), nitrogliceryna

---

<sup>14</sup> *Ibidem*, s. 68–74.

<sup>15</sup> *Ibidem*, s. 76.

<sup>16</sup> *Ibidem*, s. 105–106.

<sup>17</sup> B. Hołyst, *Kryminalistyka*, Warszawa 2010, s. 984–987.

(NG), nitroglikol (EGDN), a także materiał wybuchowy domowej produkcji, często wykorzystywany przez terrorystów – triaaceton triperoksyd (TATP)<sup>18</sup>. Istnieją trzy możliwości wprowadzenia próbek do spektrometru: 1) poprzez umieszczenie włosa bezpośrednio w aparaturze, 2) poprzez umieszczenie w urządzeniu wacików po uprzednim zdjęciu materiału z włosów papierem lub tkaniną, 3) poprzez wprowadzenie ekstraktu acetonitrylowego z włosów, który można uzyskać dopiero po 16-dniowym wyparowaniu. Najczęściej stosuje się drugą ze wskazanych wyżej metod. Za pomocą podgrzanego powietrza materiał w postaci pary lub cząsteczek jest wypychany dalej do urządzenia, gdzie zostaje zjonizowany przez bombardowanie cząsteczkami niklu. Jony łączą się z fluorowcowanymi związkami jako chlorki metylenu, posiadającymi unikatową mobilność pozwalającą na rozróżnienie materiałów wybuchowych<sup>19</sup>. Tego typu spektrometry umożliwiają szybką analizę materiału (od 4 do 10 sekund) przy jednocześnie wysokiej czułości tego sprzętu, dlatego najczęściej są używane jako chemiczne detektory na lotniskach czy przejściach granicznych. Badania naukowców wykazały, że włosy są doskonałą powierzchnią do wykrywania materiałów wybuchowych za pomocą IMS. Stwierdzono także co ciekawe, że włosy ciemne absorbują najwięcej materiałów wybuchowych. Jeżeli chodzi o trwałość utrzymywania się materiałów wybuchowych we włosach, odkryto, iż pozostają one na włosach przez od 2 do nawet 6 dni (TNT)<sup>20</sup>.

Nowe perspektywy w kryminalistycznych badaniach włosów stworzyła technika identyfikacji płci na podstawie włosów. Fluorescencja w hybrydyzacji *in situ* (ang. *Fluorescence In Situ Hybridization* – FISH) jest doskonalszą formą molekularnych testów genetycznych<sup>21</sup>. Wykorzystuje się w niej nieradioaktywne sondy DNA, fluorescencyjnie oznakowane, specyficzne dla chromosomów, które są krzyżowane z odpowiednimi ich miejscami w komórkach. Identyfikacja chromosomu jest dokonywana przez identyfikację sygnału fluorescencyjnego w komórkach i metafazę chromosomu zachodzącą pod mikroskopem fluorescencyjnym. Technika ta jest prosta, szybka i bardzo czuła. Dzięki niej można w bardzo szybki sposób ustalić obecność chromosomu lub genu w komórkach<sup>22</sup>.

Podstawą działania hybrydyzacji *in situ* jest reguła komplementarności zasad w łańcuchu DNA. Komplementarność to sposób łączenia zasad azotowych, gdzie adenina (A) tworzy podwójne wiązanie z tyminą (T), a guanina (G) potrójne z cytozyną (C). Chromosom jest tworem zbudowanym z dwóch chromatyd, natomiast każda z nich składa się z jednej cząsteczki DNA. Etapem koniecznym do przeprowadzenia techniki FISH

<sup>18</sup> J.C. Oxley, J.L. Smith, L.J. Kirschenbaum, S. Marimganti, S. Vadlamannati, *Detection of explosives in hair by using ion mobility spectrometry*, "Journal of Forensic Sciences" 2008, vol. 53, no 3, s. 690.

<sup>19</sup> *Ibidem*, s. 691–692.

<sup>20</sup> *Ibidem*, s. 693.

<sup>21</sup> B. Hołyst, *op. cit.*, s. 988.

<sup>22</sup> *Ibidem*, s. 989–991.

jest denaturacja DNA chromosomów. Powstały w ten sposób jednoniciowy fragment będzie dążyć do odnalezienia komplementarnej nici, aby się z nią związać. To zjawisko nosi nazwę hybrydyzacji<sup>23</sup>. Zgodzić się należy z prezentowanym przez naukowców poglądem, iż stosowanie metody FISH w laboratoriach kryminalistycznych będzie zjawiskiem coraz bardziej powszechnym.

Reasumując powyższe rozważania na temat badań włosów przy użyciu nowoczesnych technologii, można stanowczo stwierdzić, że są one prawdziwą kopalnią wiedzy o czynie przestępnym i jego sprawcy. Informacje, które możemy odczytać dzięki nowoczesnej aparaturze, pozwalają na ustalenie istotnych okoliczności sprawy, odtworzenie rzeczywistego przebiegu danego zdarzenia, środowiska przebywania osoby, wykonywanego zawodu, a nawet identyfikacji sprawcy. Korzystanie z tych jakże nowatorskich rozwiązań z pewnością ułatwi pracę biegłych ekspertów, a tym samym znacznie usprawni działania organów ścigania i przyczyni się do skrócenia czasu trwania postępowania, a często także do wykrycia sprawcy przestępstwa. Dlatego też z punktu widzenia procesu karnego, istotnym jest zachęcanie organów prowadzących czynności procesowe do korzystania z tych nowoczesnych i wszechstronnych „narzędzi” oraz stosowania ich w codziennej praktyce kryminalistycznej.

---

<sup>23</sup> A. Bednarek (red.), *FISH – fluorescent in situ hybridization*, [http://biotechnologia.pl/biotechnologia-portal/info/biotechnologia/32\\_opracowania/228728,fish\\_\\_fluorescent\\_in\\_situ\\_hybridization.html](http://biotechnologia.pl/biotechnologia-portal/info/biotechnologia/32_opracowania/228728,fish__fluorescent_in_situ_hybridization.html) [data ostatniego logowania: 10.10.2011 r.].

