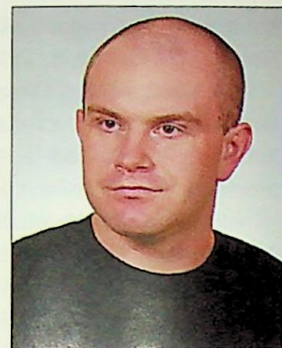


Badania pozostałości po wystrzale z broni palnej – systemy klasyfikacji danych



Badania pozostałości po wystrzale z broni palnej – GSR na polskim rynku kryminalistycznym funkcjonują już od 1998 roku i odgrywają bardzo ważną rolę w wyjaśnianiu okoliczności zdarzeń z użyciem broni palnej. Pracownia mikroskopii elektronowej Wydziału Chemii Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego KGP, jako jedyna placówka policyjna w kraju, wykonuje badania specjalistycznych stolików mikroskopowych z zabezpieczanymi mikrośladami ze zdarzeń z użyciem broni palnej, np. samobójstw czy zabójstw (tab. 1).

KGP również nieustannie udoskonala proces analizy GSR. W 2001 roku dokonano unowocześnienia bazy komputerowej sterującej mikroskopem elektronowym. Zakupiono nowoczesne oprogramowanie korygujące błędy analizy, które się pojawiały w starszym typie oprogramowania. Dzięki powyższym zakupom w 2004 roku dokonano zmiany systemu klasyfikacyjnego cząsteczek GSR na bardziej precyzyjny i mniej zawodny.

Procedura analityczna badania pozostałości po wystrzale z broni palnej, przy użyciu pakietu analitycznego

BSE – elektronów wstecznie rozproszonych, zaprogramowanie sekwencji stolików i wykonanie wydruku parametrów pracy mikroskopu. Następnie start programu i całą pracę przejmuje komputer. Powyższa procedura wymaga spełnienia pewnych parametrów gwarantujących otrzymanie prawidłowego wyniku.

Stolik mikroskopowy

Niewątpliwie elementem niezbędnym do analiz GSR jest zautomatyzowany stolik mikroskopowy (ryc. 1). Poza opcją przesuwu holder stolika musi umożliwić zainstalowanie co najmniej dwóch stolików: stolika próbki i stolika wzorca.

W czasie analizy dowodowe próbki analizowane są sekwencyjnie. Przed przejściem do kolejnej próbki następuje rekalkulacja detektora BSE. Położenie próbek i wzorców, musi zostać zdefiniowane przed analizą. W trakcie użytkowania nie jest konieczne za każdym razem podawanie koordynat stolików, ważne jest jedynie, aby w trakcie wymiany próbek fizycznie nie zmienić zdefiniowanego położenia (tab. 2).

Zamontowany w mikroskopie Philips XL40 holder umożliwia ułożenie sekwencji badawczej maksymalnie do 15 próbek. W praktyce w jednym cyklu bada się maksymalnie 6 stolików, przy założeniu, że wszystkie pochodzą od jednej osoby. Ze względów procesowych, a także możliwości ryzyka kontaminacji nie układa się dłuższych sekwencji. Podyktowane jest to także troską o aparat, gdyż analiza 15 stolików trwałaby średnio 90 godzin, czyli prawie 4 doby. Holder stolików jest modulem wymien-

Tabela 1
Liczba poszczególnych zdarzeń na przestrzeni lat 1998–2004 odnotowanych w pracowni mikroskopii elektronowej

Numbers of specific crimes submitted to CFLP SEM laboratory in years 1998–2004

Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
samobójstwa	2	7	12	23	18	24	24
zabójstwa	3	16	18	22	21	17	14
inne zdarzenia z użyciem broni palnej*	7	28	52	52	55	68	56

* rozboje, nieumyślne spowodowanie śmierci, ciężkie uszkodzenie ciała, nielegalne posiadanie broni i amunicji, kłusownictwo

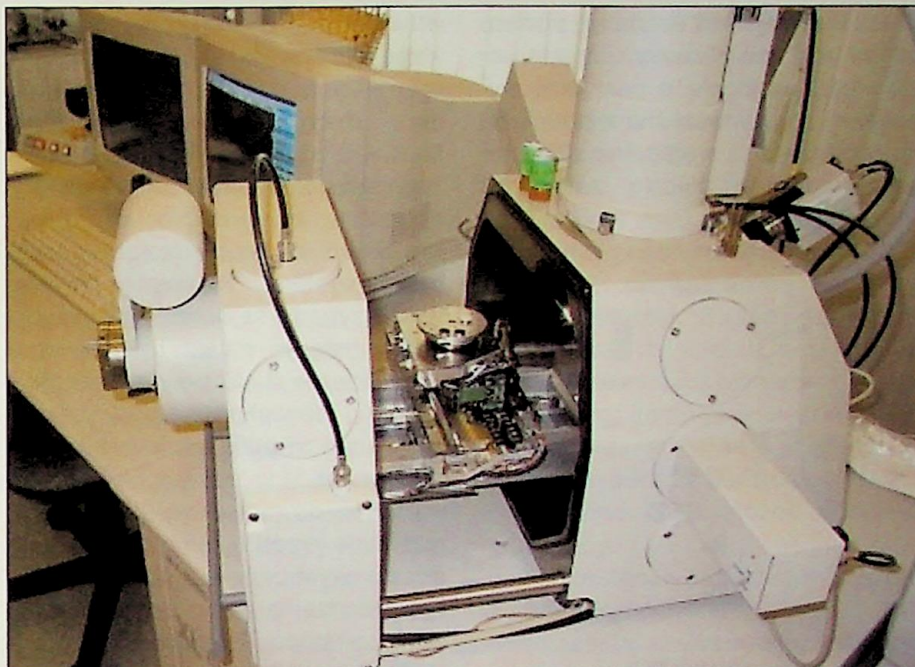
Skaningowa mikroskopia elektronowa sprzężona z energodispersyjną mikroanalizą rentgenowską SEM/EDX jest metodą bardzo dobrze już sprawdzoną i w pełni zautomatyzowaną do poszukiwania cząsteczek GSR. Jednak, jak każda dziedzina nauki, cały czas rozwija się, np. dzięki technologicznemu unowocześnianiu bazy komputerowej. Pracownia mikroskopii elektronowej CLK

go dostarczonego wraz z systemem Philips XL 40, jest procesem stosunkowo prostym. Rola operatora sprowadza się do przygotowania mikroskopu elektronowego do pracy, a następnie do ułożenia w komorze dowodowych stolików mikroskopowych w sekwencji zgodnej z nadaną numeracją archiwum. Do startu procedury badawczej potrzebna jest jeszcze tylko uprzednia kalibracja detektora

nym mikroskopu i nie ma przeciwwskazań, aby zamontować holder o innych rozmiarach.

Algorytm poszukiwania cząsteczek GSR

Programy wykorzystywane w kryminalistyce do analizy GSR wywodzą się z programów do detekcji dowolnie zdefiniowanej cząsteczki. Eksperti GSR za cząsteczki nie uznają cząsteczek w chemicznym znaczeniu tego słowa. Cząsteczka GSR to jedno- lub kilkuskładnikowy stop metali o zbliżonym do kulistego kształcie. Odpowiedzią producentów sprzętu analitycznego na zapotrzebowanie kryminalisty na narzędzie pozwalające w automatyczny sposób znaleźć i zidentyfikować cząsteczkę o danych cechach, była adaptacja już istniejącego oprogramowania. Polegało to



Ryc.1. Wnętrze komory mikroskopu elektronowego Philips XL40
Fig. 1. Inside view of Philips XL-40 electron microscope chamber

Charakterystyka stolika mikroskopowego mikroskopu elektronowego Philips XL40 [1]

Parameters of stage in XL-40 [1] Philips electron microscope

	Philips XL 40
oś X, Y	± 150 mm sterowanie automatyczne
oś Z	sterowanie manualne
przechył stolika	-30° do +45° przy 10 mm FWD oraz +60° przy większych FWD
rozmiar komory	379x280x315 mm
rotacja	n * 360°

jedynie na tym, że dodano standardowo moduły, które zawierały predefiniowane klasy cząsteczek GSR [2]. Obecnie można wykorzystać tę cechę w innych badaniach. Gdyby zaś, na przykład, potrzeba odnalezienia, porównania lub tylko policzenia różnych drobin szkła, opiłków metali lub innych substancji nieorganicznych pakiet GSR, przy spełnieniu pewnych warunków, to umożliwia.

Ślady po wystrzale z broni palnej rutynowo zabezpiecza się na stoliku mikroskopowym. Stolik mikroskopowy to krążek aluminiowy umieszczony na podstawie o średnicy 12,5 milimetra, pokryty przewodzącą adhezyjną taśmą węglową. Na jego powierzchni wyznaczany jest przez oprogramowanie sektor badawczy, który następnie dzielony jest na

mnijšie kwadraty. W zależności od wybranej metody sektor może być przybliżany prostokątem lub kołem o zadanej średnicy. Te mniejsze kwadraty to są pola badawcze. Program automatycznie dobiera do parametrów geometrycznych liczbę pól badawczych oraz robocze powiększenie. Każde pole badawcze to pojedyncza ramka skanowania o konkretnej rozdzielczości skanowania np. 512x400 punktów. Mikroskop elektronowy przeszukuje sekwencyjnie kolejne ramki w poszukiwaniu jasnych punktów—cząsteczek. Zadaniem operatora jest zdefiniowanie matrycy odpowiadającej minimalnej cząsteczce. W omawianym przypadku matryca ma rozmiar 2x2 punkty. Gdy mikroskop znajdzie obok siebie punkty spełniające te kryteria, zapi-

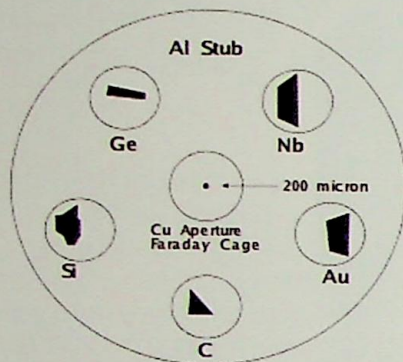
suje współrzędne, obraz bitowy i kontynuuje skanowanie. Po przeszukaniu całej ramki mikroskop wraca do każdej zarejestrowanej cząsteczki, uruchamiany jest spektrometr rentgenowski, w celu identyfikacji rejestrowane jest widmo i ostatecznie cząsteczka zostaje zidentyfikowana. Praca ta kontynuowana jest aż do ostatniego pola na stoliku, następnie generowany jest automatyczny wydruk z zestawieniem liczby i klasyfikacji cząsteczek. Aby mikroskop zidentyfikował odpowiednie jasne punkty na polu, przed każdym stolikiem musi zostać wykonana kalibracja detektora BSE.

Kalibracja detektora BSE

Obraz uzyskiwany w wyniku obróbki cyfrowej jest czarno-biały. Detektor BSE umożliwia rejestrację kontrastu atomowego. Obraz z detektora zarejestrowany dla cięższych pierwiastków jest jaśniejszy, dla lżejszych ciemniejszy.

Cyfrowo cały zakres jasności przedstawiony jest zakresem liczbowym od 0 do 4096. Poziom zero odpowiada czerni, 4096 – bieli. W celu wykonania krzywej kalibracyjnej mikroskop wykorzystuje wzorce pier-

wiazków. Najpierw ustala się poziom czerni w klatce Faradaya, potem poziom bieli na złocie, a następnie wyznacza się wartości dla niobu, germanu, krzemu i węgla (ryc. 2). Program zakłada liniową zależność



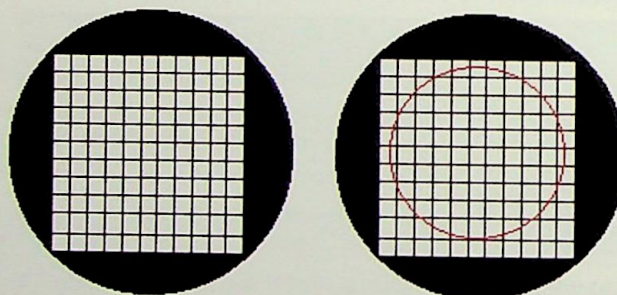
Ryc. 2. Wygląd stolika z naniesionymi wzorcami metali do kalibracji detektora BSE
Fig. 2. View of stub with metal standards for BSE detector calibration

w opisywanym zakresie zmienności liczby atomowej od jasności obrazu. W celu uniknięcia fluktuacji przy wartościach granicznych zachowany został w przybliżeniu 10% margines błędu, czyli poziom bieli obniżony został do wartości około 3800, czerni podwyższony do wartości około 200. Kalibracja wzorców jest wykonywana przed analizą każdego stolika, gdyż wraz z upływem czasu zmienia się jasność wiązki elektronowej. Mając zapisane współrzędne wzorców program robi to automatycznie.

Przerwanie analizy

W porównaniu z innymi metodami instrumentalnymi, np. sekwencjami GC/MS, analiza GSR może zostać znacznie częściej zatrzymana. W 90% przypadków przyczyną jest przepalenie się katody wolframowej – źródła elektronów, której czas eksploatacji wynosi około 2 tygodni [3]. Teoretycznie istnieje możliwość wymiany katody w trakcie analizy, ale w praktyce nowa katoda wymaga kilkugodzinnego kondycjonowania, w związku z tym nie stosuje się tej możliwości. Pozostałe 10% przypadków to głównie zapełnienie się dysku twardego plikami wynikowymi, losowo

we zatrzymanie programu spowodowane błędem programu lub bardzo urozmaicona powierzchnia próbki badanej. Przy sekwencyjnym przejściu ze stolika na stolik mikroskop próbuje zogniskować wiązkę na nowej powierzchni, jeżeli różnica poziomów jest zbyt duża, może nastąpić zawieszenie systemu. Na szczęście tego typu przypadki są bardzo rzadkie, eliminuje się je dzięki uprzedniemu sprawdzeniu śladu przy użyciu zwykłego mikroskopu optycznego. W momencie przerywania analizy został przebadany pewien procent powierzchni dowodowego stolika. Ekspert staje przed dylematem, czy taki obszar wystarczy do definitywnego wypowiedzenia się o całości dowodowego śladu. Standardowo ślady GSR zbiera się na pokryty przewodzącą taśmą węglową aluminiowy stolik mikroskopowy o średnicy $d=12,5$ mm. Sektor badawczy może być przybliżony za pomocą prostokąta lub koła o zadanej średnicy (ryc. 3).



Ryc. 3. Schematyczne przedstawienie wyglądu sektora roboczego przybliżanego prostokątem oraz okręgiem
Fig. 3. Schematic representation of the operation field approximated with square and circle

Jak łatwo policzyć, powierzchnia całego stolika wynosi:

$$P_{st} = \frac{\pi d^2}{4} = 122,7 \text{ mm}^2$$

Prostokąt o maksymalnym polu opisany na okręgu o średnicy 12,5 mm jest kwadratem o długości boku równym:

$$a = \frac{d}{\sqrt{2}} = 8,8 \text{ mm} \text{ i } P_{\max} = 78,1 \text{ mm}^2$$

Stosując sektor prostokątny, maksymalnie można przebadać:

$$f = \frac{P_{\max}}{P_{st}} * 100\% \approx 64\%$$

powierzchni stolika dowodowego. Przy zastosowaniu sektora o kształcie koła, współczynnik f może być zdecydowanie wyższy. Z praktyki wynika jednak, że maksymalizowanie obszaru roboczego nie jest korzystne, gdyż taśma węglowa w wyniku kontaktu ze skórą ulega przesunięciu i nie przylega idealnie symetrycznie do okrągłej aluminiowej podkładki. W wyniku przesunięcia części skrajne mogą zostać poza sektorem badawczym lub sektor badawczy obejmie aluminiową podstawę. Stosując powyższe założenia przeszukuje się 64% procent powierzchni dowodowej próbki. W celu odpowiedzi na pytanie, czy taka powierzchnia jest wystarczająca do wypowiedzania się o całej próbce, przeprowadzono obliczenia. Należy założyć, że cząsteczki GSR są w sposób

losowy rozmieszczone na powierzchni stolika. Zdefiniowano zmienną losową X_i , która przyjmuje wartości:

$X_i = 1$, gdy i -ta interesująca cząsteczka zostanie znaleziona,

$X_i = 0$, gdy nie zostanie znaleziona.

Niech p oznacza procent przeszukanej powierzchni stolika, natomiast N liczbę cząsteczek GSR na stoliku, i przyjmuje wartości od 0 do N . Przyjmując binominalny rozkład zmiennej losowej X_i prawdopodobieństwo znalezienia i -tej cząstki jest niezależne od pozostałych cząstek i równe procentowi przeszukanej powierzchni:

$$P(X_i = 1) = p$$

a zdarzenia przeciwnego:

$$P(X_i = 0) = 1 - p$$

Tak więc prawdopodobieństwo znalezienia cząstki jest sumą prawdopodobieństw:

$$X = \sum_{i=1}^N X_i$$

Można zdefiniować sumaryczne prawdopodobieństwo, że przeszukano p procent powierzchni stolika, na którym znajduje się N cząsteczek i nie znaleziono jeszcze ani jednej cząsteczki [4].

$$P(X = 0, p, N) = (1 - p)^N \quad [4]$$

Wzrostku się powyższym wzorem oraz znając procent przeszukanej powierzchni policzono prawdopodobieństwo dla kluczowych wartości N (tab. 3).

Wzrostku się powyższym wzorem oraz znając procent przeszukanej powierzchni policzono prawdopodobieństwo dla kluczowych wartości N (tab. 3).

padku cząsteczek PbSbBa ta wartość to 20 na sektorze badawczym.

Zdefiniowane klasy cząsteczek GSR

Wynikiem analizy GSR jest automatycznie generowany raport z badań, który zawiera liczbę znalezionych cząsteczek z uwzględnieniem zdefiniowanych klas. Operator ma także do dyspozycji bitmapy z zarejestrowanym kształtem każdej cząsteczki oraz jej widmo rentgenowskie. Wszystkie cząsteczki unikalne i indykatywne GSR można podzielić na 3 grupy:

- cząsteczki charakterystyczne dla amunicji klasycznej,
- cząsteczki charakterystyczne dla amunicji dawnego bloku wschodniego,
- cząsteczki charakterystyczne dla amunicji ekologicznej [5].

Poza tymi grupami zdefiniowane zostały cząsteczki pochodzące z otoczenia, które każdy normalnie funkcjonujący człowiek może mieć na ręce, oraz cząsteczki, które mają związek z GSR – pochodzą z elementów konstrukcyjnych broni i amunicji. Podział ten został dokonany w trakcie wprowadzania procedury badawczej w oparciu o wyniki eksperymentalne oraz literaturę. Przebadany został zestaw amunicji dostępnej na polskim rynku. Niestety na terenie Polski różnorodność używanej amunicji jest bardzo duża, co zmusza do stosowania i definiowania klas specyficznych dla naszego obszaru. Standardowo program ma zaimplementowany zestaw cząsteczek typowych dla amunicji klasycznej, w przypadku której ma-

Tabela 3
Tabela zależności prawdopodobieństwa niezalezienia ani jednej cząsteczki w funkcji ich liczby oraz procentach przeszukanej powierzchni

Table of interdependence of probability of not detecting any of encoded particles and percentage of area searched

P	N=1	N=2	N=3	N=5	N=10
0,95	0,0500	0,0025	0,0001	0,0000	0,0000
0,80	0,2000	0,0400	0,0080	0,0003	0,0000
0,64	0,3600	0,1296	0,0467	0,0060	0,0000
0,50	0,5000	0,2500	0,1250	0,0313	0,0010
0,25	0,7500	0,5625	0,4219	0,2373	0,0563
0,05	0,9500	0,9025	0,8574	0,7738	0,5987

Dane z tabeli 3 należy interpretować następująco: jeżeli przeszukano wszystkie zdefiniowane sektory badawcze, które np. stanowią 64% powierzchni całkowitej i nie znaleziono jeszcze ani jednej z 3 założonych cząsteczek, to prawdopodobieństwo

szukaniu części powierzchni znaleziono cząsteczki unikalne, nie ma wtedy potrzeby powtarzania badań. Istnieje możliwość zdefiniowania żadanego progu liczby cząsteczek unikalnych, powyżej którego nastąpiłoby automatyczne przerwanie badań – w przy-

Przykładowy skład spłonek w różnych rodzajach amunicji

Exemplary composition of primers in various ammunition types

Składniki spłonki	Amunicja klasyczna	Amunicja dawnego bloku wschodniego	Amunicja ekologiczna
detonator	trójnitrerezorcynian ołowiu, azydek ołowiu	azydek ołowiu, piorunian rtęci	diazodinitrofenol
środek utleniający	azotan baru, dwutlenek ołowiu	chlora potasu, dwutlenek ołowiu, azotan baru	azotan strontu, nadtlenek cynku, proszek tytanowy
paliwo	siarczek antymonu, krzemek wapnia	siarczek antymonu	proch bezdymny
uczulacz	tetrazen	piorunian rtęci, trójnitrotoluen	tetrazen
główne pierwiastki	Pb, Sb, Ba, Ca, Si, S, Sn	Sb, K, Cl, Sn, Hg, Pb czasami Ba	Sr, Ti, Zn czasami Mg

Tabela 4

teriał sponki zawiera związki antymonu, ołowiu i baru. Na materiał chemiczny sponki składają się cztery grupy związków chemicznych, z których powstają cząsteczki GSR. Typ cząsteczek GSR, które powstaną w wyniku strzału w głównej mierze zależy od tego, jakie związki chemiczne zostały użyte do produkcji amunicji. Przykładowo stosowane związki chemiczne przedstawiono w tabeli 4.

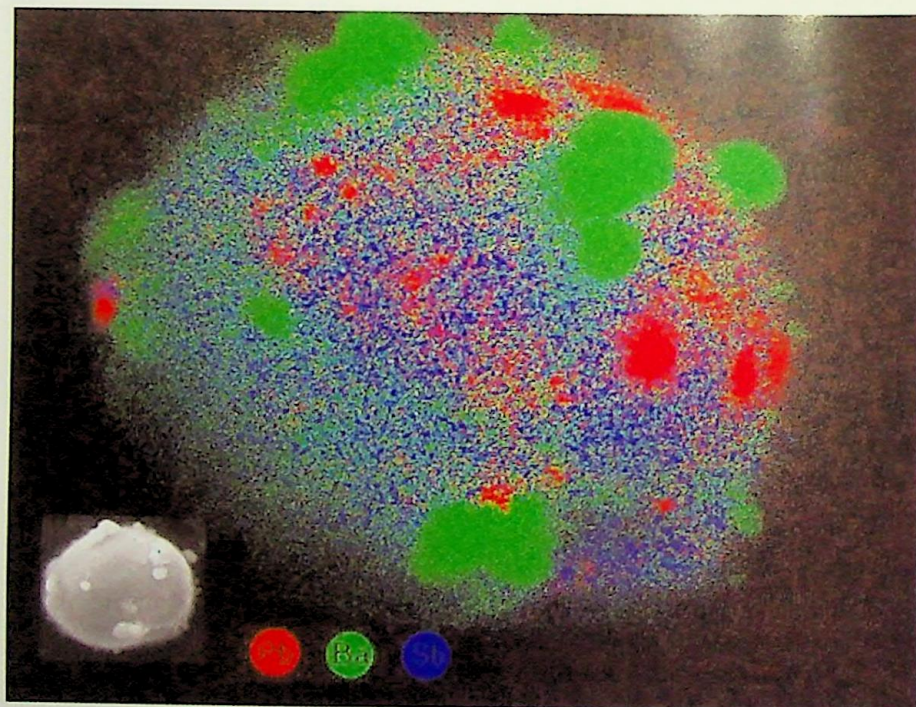
W badaniach kryminalistycznych idealną sytuacją byłoby dysponowanie materiałem porównawczym, czyli dowodową łuską lub nieodstrzelonym nabojem. Wówczas nawet w przypadku nietypowej amunicji możliwe byłyby badania porównawcze ślad – łuska. W przypadku braku takiej możliwości badania mają charakter identyfikacyjny, oparty na wynikach wcześniej przeprowadzonych analiz. Zawsze może się zdarzyć sytuacja, że do badań otrzymamy amunicję, z którą nie mieliśmy wcześniej do czynienia i nie wiemy, jakie cząstki są dla niej charakterystyczne. Prawdopodobnie baza amunicji pozwoliłaby (lub tylko w ograniczonym zakresie) na typowanie amunicji, lecz prawdopodobieństwo napotkania nietypowej sponki zostałoby zmniejszone. Zagrożeniem dla badań GSR metodą mikroskopii elektronowej jest również pojawianie się nowych rodzajów amunicji, zwłaszcza takich, które po strale nie pozostawiają po sobie żadnych pozostałości nieorganicznych. Bez domieszkowego znakowania takiej amunicji (odcisk palca) nawet posiadając materiał porównawczy badanie jej staje się bezcelowe.

Cząsteczki unikalne, indykacyjne oraz interesujące

Celem badań pozostałości po wystrzale z broni palnej jest znalezienie w materiale dowodowym cząsteczek stopu metali i zaklasyfikowanie ich do jednej z wyżej wymienionych grup. Cząsteczka unikalna to taka, której jedynym możliwym źródłem pochodzenia jest eksplozja sponki. Cząsteczka indykacyjna to taka, która prawdopodobnie powstała w wyniku eksplozji sponki. Ustalenie, czy cząsteczka



Ryc. 4. Typowa unikalna cząsteczka GSR – struktura obranej pomarańczy
Fig. 4. Typical unigu GSR particle – „peeled orange” structure

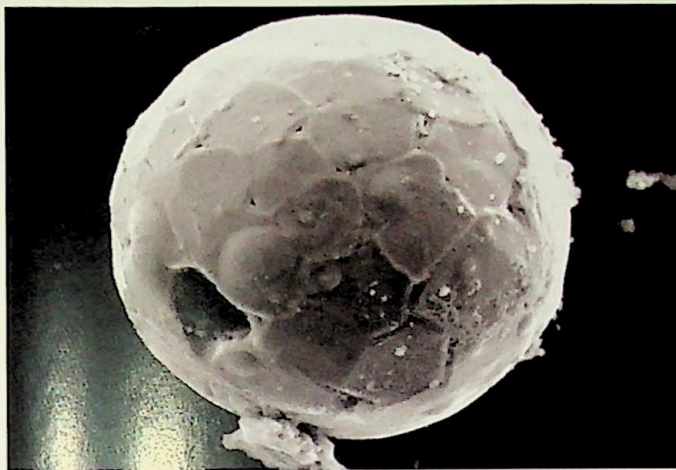


Ryc. 5. Rozkład pierwiastków na powierzchni 20-mikronowej cząsteczki PbSbBa
Fig. 5. Distribution of elements on surface of 20-micron PbSbBa particle

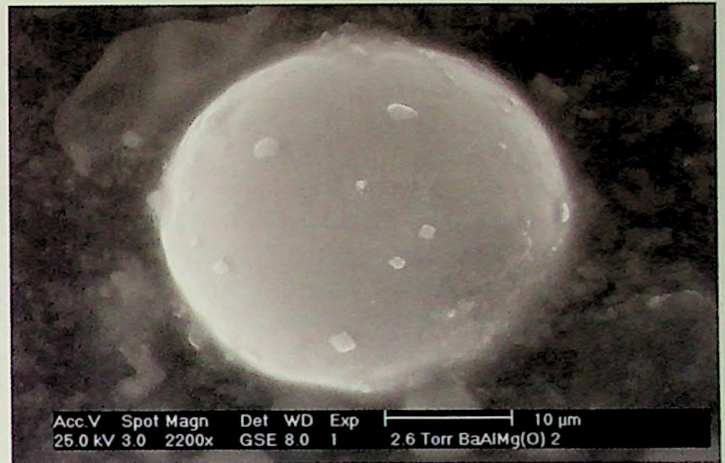
pochodzi z wybuchu sponki, a nie z innego źródła jest najważniejszym aspektem procedury badawczej. Taka procedura na pewno powinna zawierać listę cząsteczek unikalnych, indykacyjnych, cząsteczek „zabronionych”, których obecność może wskazywać na inne niż po oddaniu strzału pochodzenie cząstek (ryc. 4).

Oprócz składu pierwiastkowego należy ustalić także, w jaki sposób

morfologia wpływa na interpretację wyników (ryc. 5). Cząsteczka, która nie ma kształtu zbliżonego do kulistego, natomiast widoczne są kany i ostre krawędzie, nie powinna być traktowana jako GSR. Cząsteczki o większych średnicach mogą być zdeformowane bardziej, na ogół wychwytyują na swoją powierzchnię cząsteczki o mniejszej średnicy, tworząc charakterystyczną guzkowatą struk-



Ryc. 6. Cząsteczka żelaza przypominająca kształtem GSR
Fig. 6. Iron particle similar in shape to GSR particle



Ryc. 7. Cząsteczka BaAlMg (O) przypominająca kształtem GSR
Fig. 7. BaAlMg (O) particle similar in shape to GSR particle

ture. Należy być ostrożnym w ocenie. Wiele cząsteczek niezwiązanych z GSR ma kształt zbliżony do GSR (ryc. 6, 7). Głównym kryterium powinien być zawsze skład chemiczny.

Występowanie niektórych pierwiastków jedynie w obecności innych może wskazywać na GSR. Obecność cynku jedynie przy jednoczesnej obecności miedzi, a także niklu tylko przy obecności cynku lub miedzi [6] może wskazywać na związek tych cząsteczek z procesem oddania strzału. Cząsteczki o składzie charakterystycznym dla cząsteczek indykacyjnych spotykano także w przyrodzie, np. w trakcie spalania niektórych materiałów pirotechnicznych [7], w wyniku zużywania się samochodowych tarcz hamulcowych [8] i innych [9]. Wprowadzony w CLK KGP system identyfikacji GSR wykorzystuje wypracowaną przez ENFSI klasyfikację, opartą na elementach brytyjskiego systemu klasyfikacyjnego Metropolitan Police, uzupełnioną o klasy cząsteczek utworzone przez dr. inż. Andrzeja Filewicza jako wynik prac badawczych nad dostępną na naszym rynku amunicją (tab. 5).

Z analizy tabeli wynika, iż musiały powstać grupy cząsteczek charakterystyczne dla naszego obszaru geograficznego, tj. producentów amunicji z terenu dawnej Czechosłowacji, NRD oraz Związku Radzieckiego. Standardowe grupy zdefiniowane w programie, jak wskazuje 7-letnie doświadczenie, uniemożliwiłyby prawidłową analizę spraw, w których nie

Stosowane klasy cząsteczek GSR – unikalne i indykacyjne
Classes of GSR particles: unique and indicative

Typy cząsteczek	Amunicja klasyczna		Amunicja dawnego bloku wschodniego	Amunicja ekologiczna
	Sellier & Belliot	Zachód		
Cząsteczki unikalne	PbSnCaBaSi PbSnSbBa	PbSbBa SbBa	HgSClKSnSb HgPbSClKSnSb	Sr SrCa SrBa TiZn TiCu
Cząsteczki indykacyjne	PbBaCaSi PbSnCaBa PbSnSb PbCa PbSn PbSnBa BaCaSi PbCaBa	PbSb PbBa Sb Ba Pb Sb (z S)	PbSClKSnSb SClKSnSb SSnSb SnSb SClKSb	TiCu AlKZnMn

jest stosowana amunicja klasyczna. Oprócz cząsteczek unikalnych i indykacyjnych w obszarze zainteresowań eksperta kryminalistyki, są tzw. cząsteczki środowiskowe, które mo-

z dłoni powinny być obecne takie cząsteczki – w zależności od cech osobniczych od kilkudziesięciu do kilkuset sztuk (tab. 6).

Inne cząsteczki spotykane w badaniach GSR
Other particles encountered in GSR examinations

Cząsteczki środowiskowe
LaCe, PbClBr, BaSO ₄ , Fe, Bi, U, Sn, Cu, Ca, Si, Al, CuNi, CuZn, ZnNi, Ti, i inne

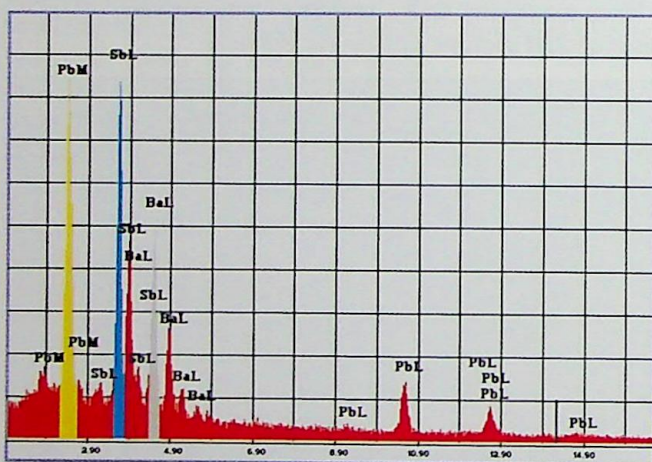
gą tworzyć się także w momencie strzału lub też pochodzić ze środowiska. Gdy ich brak można wnioskować, że osoba, od której zabezpieczano ślady myła lub czyściła ręce. W przypadku gdy osoba celowo nie czyściła rąk w śladach zebranych

Stosowane systemy automatycznej klasyfikacji cząsteczek

Program analizuje i kwalifikuje automatycznie wszystkie znalezione cząsteczki w zdefiniowanym prze-

dziale liczby atomowej. Możliwe jest wykorzystanie dwóch niezależnych od siebie algorytmów klasyfikacyjnych: ROI oraz STRIP. W celu wybrania metody STRIP należy zmodyfikować ustawienia systemu, gdyż domyślnym systemem jest ROI. Niezależnie od wyboru, operator dysponuje predefiniowanymi klasami częstotliwości GSR, które można modyfikować. W przypadku jednak ROI z systemu nie można usunąć klas uznawanych za podstawowe. STRIP umożliwia zbudowanie od podstaw całego systemu, który wcale nie musi być przeznaczony do GSR.

System klasyfikacyjny ROI



Ryc. 8. Zasada klasyfikacji pierwiastków w systemie ROI
Fig. 8. Philosophy of element classification in ROI system

System ROI jest najstarszym systemem wdrożonym do badań przez British Metropolitan Police. Zasada działania polega na tym, iż badane są zdefiniowane rejony widma rentgenowskiego w celu znalezienia konkretnego pierwiastka, a tym samym klasy, którą tworzy. Program zlicza liczbę sygnałów w zadanym przedziale energetycznym, porównuje z tłem i na tej podstawie decyduje, czy pierwiastek został znaleziony [10] – (ryc. 8).

Metoda sprawdza się w przypadku amunicji typu klasycznego, ale przy złożonych, silnie nakładających się liniach robi rażące błędy. Błędne kwalifikacje zmuszają operatora do zdwojonej uwagi przy manualnej re-klasyfikacji widm. Poza tym nie ma dużego pola manewru, jeżeli chodzi

o konfigurowanie samego systemu klasyfikacyjnego. ROI można jedynie „doczulić” na określone pierwiastki, za pomocą progów odcięcia (ang. cut-off). Takie wzmocnienie zadziała jednak we wszystkich zdefiniowanych klasach, co już nie jest dobrym rozwiązaniem. Hierarchiczność zdefiniowanych klas sprawia, że system ma tendencje do wyznajdowania pierwiastków tam, gdzie ich nie ma lub gdy ich intensywność jest na poziomie tła.

System klasyfikacyjny STRIP

STRIP jest bardziej elastycznym i nowoczesnym narzędziem. Zasada działania polega na porównywaniu widma pierwiastka w nieznanym związku z intensywnością czystego wzorca po uprzednim odrzuceniu tła. Dla konkretnego pierwiastka porównuje się wszystkie widoczne linie danej serii widmowej, a nie tylko np. najsilniejsze pasmo. Ten stosunek wyraża się

w wartości współczynnika *K-Ratio*,

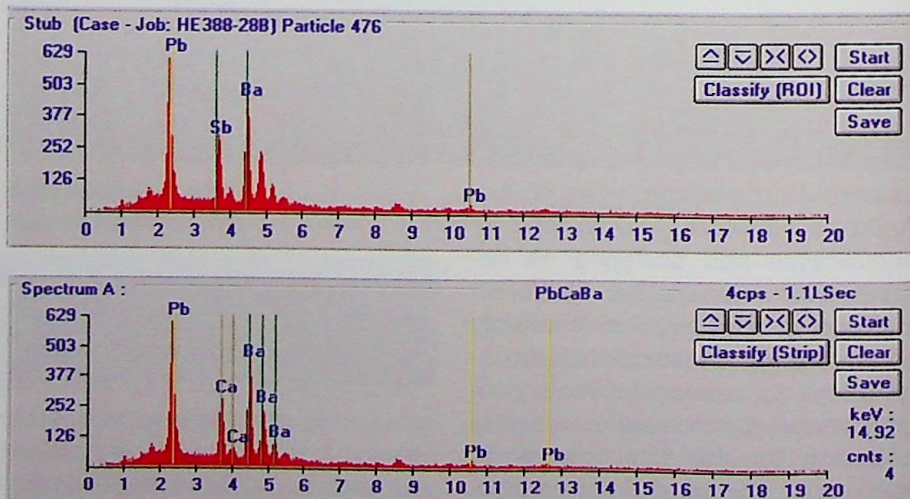
który jest jednym z elementów definiujących system. Na przykład współczynnik *K-Ratio* dla miedzi równy 0,1 oznacza, że intensywność sygnału jest równa 10% sygnału dla czystego metalu. Alternatywą dla *K-Ratio* jest parametr intensywności pików do tła (ang. *P/B ratio*). Jednak przy użyciu parametru P/B bardzo trudno jest zdefiniować funkcjonalny system klasyfikacji GSR, dysponując nawet danymi doświadczalnymi, co potwierdza także autor programu. Program umożliwia konfigurację następujących parametrów:

- **Lower/Upper *K-Ratio*** – odpowiednio niższy i wyższy próg intensywności dla konkretnego pierwiastka. *K-Ratio* z przedziału (0,08–0,45) oznacza, że jeżeli sygnał będzie intensywniejszy niż 8% czystego składnika, ale nie intensywniejszy niż 45% będzie on uznany za znaleziony. Jest to bardzo wygodny sposób, gdyż można dla jednego pierwiastka zdefiniować kilka zakresów. Ustawienia te mogą być różne dla różnych klas, inaczej niż w ROI.

- ***P/B Ratio*** – globalny stosunek pików do tła, poniżej którego żaden pierwiastek nie zostanie sklasyfikowany.

- ***CPS Threshold*** – minimalna liczba zliczeń wymagana do klasyfikacji pierwiastka.

- ***Stats. Error – Major/Minor*** – budując system decydujemy, które



Ryc. 9. Porównanie efektywności metody klasyfikacyjnej ROI i STRIP – przykład błąd jako efekt nakładania się linii Sb/Ca

Fig. 9. Compared effectiveness of ROI and STRIP classification method – example: error resulting from overlapping Sb/Ca lines

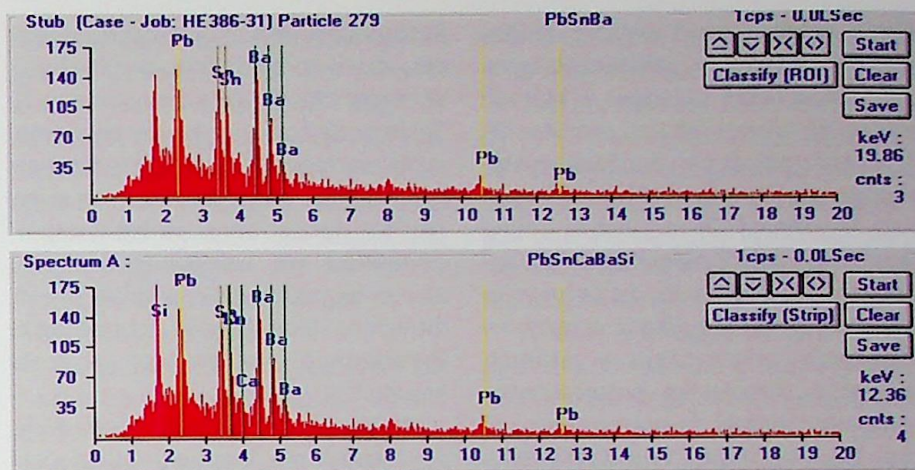
z pierwiastków uznajemy za ważne – *Major*. Ich widmo będzie dłuższe i dokładniej zbierane. Parametr ten określa błąd wyznaczenia liczby zliczeń sygnału. Im większy próg błędu, tym mniej starannie może sygnał być wyznaczony.

• **Maximum Particles/Stub** – liczba cząsteczek danej klasy wystarczająca do zakończenia analizy. Bardzo wygodna opcja, zwłaszcza, gdy mamy do czynienia z amunicją, w której poza łuską nie występują cząsteczki inikalne. W takim przypadku analizę kończymy na określonej liczbie cząsteczek indykatorynych. W PDA taką możliwość można jedynie przypisać do czterech układów cząsteczek PbSbBa, PbBa, PbSn, SbBa – uznawanych jako najważniejsze (*Major*).

Duże znaczenie ma fakt, że jeżeli w widmie występują dwie różne linie np. M i L to można zdefiniować pierwiastek posiadając się dowolną jedną lub obiema liniami (ryc. 9, 10, 11).

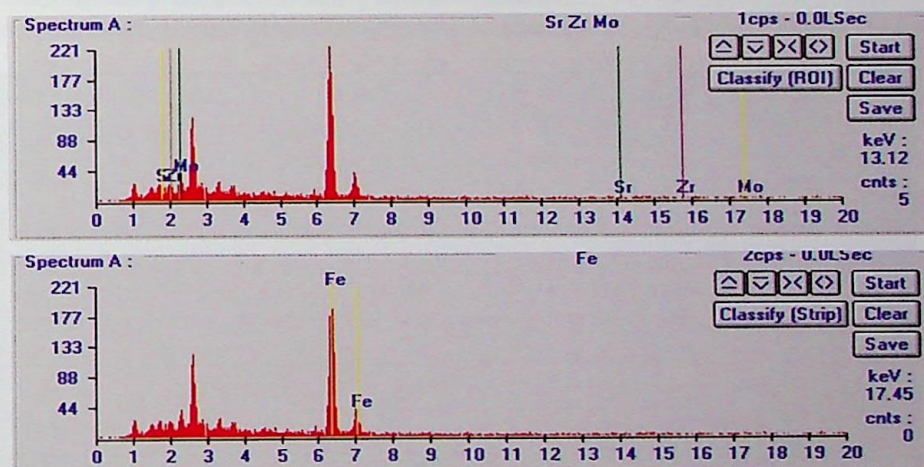
Nakładanie się widm rentgenowskich

Problem overlappingu lub po polsku nakładania się blisko leżących linii elektronowych często występuje podczas analizy widma rentgenowskiego (tab. 7). Na szczęście większość pierwiastków reprezentowana jest w widmach rentgenowskich przez więcej niż jedną linię. Często są to dwie lub więcej linii, którymi można posłużyć się przy identyfikacji. Zasada jest prosta: jeżeli jest wątpliwość, od jakiego pierwiastka pochodzi dana linia, należy sprawdzić wszystkie możliwe linie przy danej energii wzbudzenia. Brak którejkolwiek z nich automatycznie eliminuje konkretny pierwiastek. Typowym przykładem tego typu jest siarka ($K_{\alpha} = 2,30$ keV) i ołów ($M_{\alpha} = 2,34$ keV). W przypadku ołowiu oprócz linii M dysponujemy liniami $L_{\alpha} = 10,55$ keV, ich obecność jednoznacznie potwierdza obecność ołowiu. Niestety istnieją układy, z którymi metoda EDS całkowicie sobie nie radzi. Nie można rozróżnić na przykład mieszaniny rodu i palladu, gdyż wszyst-



Ryc. 10. Porównanie efektywności metody klasyfikacyjnej ROI i STRIP – przykład, klasa 5-elementowa błędnie klasyfikowana jako 3-elementowa

Fig. 10. Compared effectiveness of ROI and STRIP classification methods – example: 5-element class falsely classified as 3-element group



Ryc. 11. Porównanie efektywności metody klasyfikacyjnej ROI i STRIP – intensywność pierwiastków na granicy tła

Fig. 11. Compared effectiveness of ROI and STRIP classification methods – intensity of elements slightly exceeding background level

Tabela 7

Pierwiastki sprawiające problemy Problematic elements

Układy pierwiastków	Pb i S	Ba i Ti	S i Mo	Sb i Ca	Sn i Sb
Energia	$SK_{\alpha} = 2,30$	$TiK_{\alpha} = 4,51$	$SK_{\alpha} = 2,30$	$SbL_{\alpha} = 3,60$	$SnL_{\alpha} = 3,44$
Linii [keV]	$PbM_{\alpha} = 2,34$	$BaL_{\alpha} = 4,46$	$MoL_{\alpha} = 2,29$	$CaK_{\alpha} = 3,69$	$SbL_{\alpha} = 3,60$
Różnica [keV]	0,04	0,05	0,01	0,09	0,16

kie linie ich serii widmowych są wzajemnie zakłócające [11]. Jednym ze sposobów na nakładanie się linii jest zastosowanie detektora WDX, który ma znacznie lepszą rozdzielczość dla niskich energii, w którym to zakresie leży większość linii lekkich pierwiastków. Dla analizy GSR ważne są następujące układy nakładają-

cych się linii, przy średniej rozdzielczości 0,14 keV (tab. 7).

Zjawisko nakładania się linii prowadzi do błędnej automatycznej klasyfikacji cząsteczek GSR, zwłaszcza w przypadku amunicji dawnego bloku wschodniego, a także w takiej amunicji, gdzie występuje cyna i antymon (ryc. 9, 10). Problemy sprawia rozróż-

nienie antymonu od wapnia, jednocześnie detekcji w cząsteczce cyny i wapnia, a także układów, w których występuje więcej niż trzy pierwiastki. Przy automatycznej analizie występuje jeszcze jeden problem. Metoda klasyfikacyjna ROI nie jest w stanie oszacować ilości pierwiastka w cząsteczce. Powoduje to, że w wyniku automatycznej klasyfikacji w raporcie występują cząsteczki, w których obecność pierwiastka (interesującego operatora) jest na granicy detekcji (ryc. 11). Dzieje się to na ogół wtedy, gdy w cząsteczce obecne są lekkie

ją trudności, a następnie reklasyfikację, czyli sprawdzenie oryginalnych wyników dla spraw już wykonanych. Takie podejście umożliwiło zbadanie, jakie wartości przyjmują współczynniki *K-Ratio*. Na podstawie tych wyników tak dopasowano wartości współczynników we wszystkich klasach, aby osiągnąć wysoki stopień prawidłowych klasyfikacji cząsteczek. Przebadano następujące rodzaje amunicji:

- Pawam 12 Pionki – amunicja klasyczna (typowe cząsteczki PbSbBa);

miała za zadanie odnaleźć wszystkie interesujące cząsteczki. Prawidłowość klasyfikacji sprawdzano manualnie. Następnie dobierano wartości *K-Ratio* tak, aby wszystkie cząsteczki były prawidłowo sklasyfikowane. Dążono do tego, aby wynik był racjonalny, to znaczy automatyczna klasyfikacja była tożsama z klasyfikacją manualną. Przykładowe ewolucje klas dla amunicji Makarow 9 mm 21 96 zestawiono w tabeli 8.

Ustalano wartości lower *K-Ratio*, ponieważ druga granica pozostała bez zmian – 1,00, tym samym wysiłaby

abela 8

Metoda ustalania lower *K-Ratio* dla amunicji 9 mm Makarow
Methods of determining lower *K-Ratio* for 9 mm Makarov ammunition

Parametry analizy	Klas. manualna	Klas. ROI	Wartości lower <i>K-Ratio</i> dla Sn, Sb, S (x100)			
			SSnSb (1/30/20) SSb (1/40)	SSnSb (1/25/15) SSb (1/30)	SSnSb (1/20/10) SSb (1/20)	SSnSb (1/9/4) SSb (1/14)
min. – 0,5 μ matryca: 2x2 punkty 250 zliczeń system klasyfikacji: STRIP Pole 8,0 x 2,0 mm	SSb	Sb	-	-	SSnSb	SSb
	SSnSb	Sn	-	-	-	SSnSb
	SSnSb	Sn	SSnSb	-	SSnSb	SSnSb
	SSb	Sb	-	SSnSb	SSnSb	SSb
	SSb	Sb	SSb	SSb	SSnSb	SSb
	SSnSb	Sn	SSnSb	-	SSb	SSnSb
	SnSnSb	Sb	SSb	SSb	SSnSb	SnSnSb
	SSb	Sb	SSb	SSb	SSb	SSb

pierwiastki, które nie są klasyfikowane jako GSR. Program „na siłę” próbuje odnaleźć w nich cięższe pierwiastki. Wynika to z faktu, że w metodzie ROI nie zostały zdefiniowane progi, od których dana klasa ma być zakwalifikowana jako znaleziona. Proponowana przez firmę EDAX a wdrażana obecnie w CLK alternatywna metoda klasyfikacji STRIP w pełni to umożliwia.

Metody wyznaczania *K-Ratio* – badania amunicji

W celu stworzenia systemu klasyfikacyjnego cząsteczek GSR w metodzie STRIP należało wyznaczyć przede wszystkim współczynniki *K-Ratio*. Pracę podzielono na dwa etapy: sprawdzenie oryginalnej amunicji takiej, której cząsteczki sprawia-

- Makarow 9 mm 21 96 – amunicja dawnego bloku wschodniego (typowe SSnSb);
- Sellier & Belliot 7,65 B – amunicja klasyczna (typowe cząsteczki PbSnBaCaSi);
- Automat postole „DUO” CAL 6,35 – amunicja klasyczna (typowe cząsteczki PbSbBa);
- kal. 7,62 wz-30 pist. wzór 33 ślepy – amunicja dawnego bloku wschodniego (typowe SSnSb);
- Luger 9mm At 2000 Police Special – amunicja klasyczna (typowe cząsteczki PbCaBaSi).

Stosowano metodę pierwszego pola. Badany obszar dobierano w ten sposób, aby na pierwszym polu znajdowały się charakterystyczne cząsteczki. Pierwsza automatyczna analiza przy zastosowaniu systemu ROI

dla czystego pierwiastka. Do większości wniosków dochodzono drogą obserwacji zachowań systemu klasyfikacyjnego. Wydawać by się mogło, że najprostszym sposobem na stworzenie systemu byłoby pozostawienie wartości na ich poziomie początkowym, czyli w przedziale od 0,02 do 1,00. Takie podejście skutkuje fałszywymi klasyfikacjami, zwłaszcza dla linii nakładających się. W przypadku Sn i Sb energia linii Sb jest większa od Sn, więc niejako linia Sb zawsze „leży” na linii Sn i logiczne jest pozostawienie wartości *K-Ratio* dla Sb wyższej od Sn. W takim układzie Sn będzie zawsze prawidłowo klasyfikowana. Jednak w większości cząsteczek GSR antymonu jest mało, zwłaszcza w złożonych cząsteczkach i wartość 0,04 jest optymalna. Dla

układów pięciocząsteczkowych można ją nawet obniżyć do poziomu 0,03 bez utraty zdolności klasyfikacyjnej. W przypadku lekkich pierwiastków takich, jak S czy Ca wartość lower *K-Ratio* musi być na poziomie minimalnym, czyli 0,01 lub 0,02. Na szczęście ołów jest oznaczany po liniach L, więc nie ma szansy na pomyłkę. W przypadku amunicji klasycznej problemem jest odróżnienie wapnia od antymonu. System klasyfikacyjny STRIP radzi sobie z tym problemem dobrze, o ile $Ca_{lower} K-Ratio < Sb_{lower} K-Ratio$ i zdefiniowane są oba bliźniacze układy: PbSbBa i PbSbBa. Ustalając granice wartości lower *K-Ratio* należy pamiętać o pewnym kompromisie między precyzją klasyfikacji a zawartością pierwiastka w cząsteczce. Chodzi o przypadek, gdy około np. 60% cząsteczki stanowi żelazo, a *K-Ratio* dla PbSbBa wynoszą np. (0,02/0,03/0,02). Można zmusić system, aby nawet takie cząsteczki też klasyfikował jako unikalne, jednak sprawa jest godna zastanowienia. Z doświadczenia wiadomo, że lower *K-Ratio* na poziomie 0,10 daje już pewność klasyfikacji.

Metody wyznaczania *K-Ratio* – rekasyfikacja zarejestrowanych wyników

Nie było potrzeby przebadania każdego możliwego rodzaju amunicji w celu wyznaczenia *K-Ratio*. Wiadomo, jakich cząsteczek poszukuje się, przez analogię więc z częściej występującymi cząsteczkami można przewidzieć odpowiednie wartości *K-Ratio*. Kolejnym sposobem ustalenia potrzebnych wartości jest ponowne przeklasyfikowanie posiadanych już wyników. Metoda ta nie niszczy zapisanych już danych, więc jest bezpieczna, a zarazem wygodna w użyciu. Za pomocą opracowanego zestawienia statystycznego wytypowano sprawy, w których mogła wystąpić interesująca amunicja. Na podstawie rekasyfikacji stworzono tabelę, w której gromadzono dane na temat zmienności *K-Ratio* w zakresie konkretnych grup. W efekcie stworzone

klasy zostały i tak zdefiniowane ze sporym zapasem w porównaniu z rzeczywistymi danymi, aby nie wprowadzić analogicznie do ROI rozbieżności klasyfikacyjnych. Wartości średnie lower *K-Ratio* uzyskano z co najmniej 20 wyników dla cząsteczek z różnych spraw.

Zakres zmienności *K-Ratio* w obrębie danej klasy jest bardzo duży. Na podstawie uzyskanych wyników można zaryzykować pogląd, że nie ma żadnej zależności między ilościową zawartością danego pierwiastka a określoną klasą. Minimalna zawartość stężeniowa pierwiastka waha się od poziomu 2–3% do prawie 90%. Jednak nie prowadzono żadnych zależności statystycznych dla różnych rodzajów amunicji, które generują identyczne rodzaje klasy cząsteczek. Być może taką zależność dałoby się odnaleźć badając wartości względne. Chodzi o oznaczenie ilości badanego składnika do składnika przyjętego za wzorzec. Cząsteczki GSR danej klasy różnią się zawartością procentową pierwiastków – składników. System klasyfikacyjny STRIP umożliwia rozróżnienie cząsteczek tej samej klasy GSR, ale różniących się zawartością pierwiastka. Przykładowo można zdefiniować cząsteczkę antymonu Sb „bogatą w antymon”, tj. o zawartości antymonu od 50% (*K-Ratio* 0,49–1,00) oraz „ubogą w antymon” do 50% (*K-Ratio* 0,19–49), lub też cząsteczki unikalne, które już na etapie automatycznej klasyfikacji dawałyby operatorowi podstawy do ich manualnej rekasyfikacji: PbSbBa – PEWNA! (*K-Ratio* 0,09–1,00/0,14–1,00/0,14–1,00) oraz PbSbBa-SPRAWDŹ MNIE! (*K-Ratio* 0,01–0,09/0,01–0,14/0,01–0,14). Początkowo przy budowie systemu klasyfikacyjnego STRIP wprowadzono tego rodzaju rozróżnienie, ale wycofano się z niego z trzech powodów. Po pierwsze, przy stosowanej metodzie badawczej szacunkowe oznaczenie składu nie daje żadnej wiążącej informacji dla eksperta co do charakteru cząsteczki. Po drugie, operator i tak jest zobowiązany do manualnego przejrzania wszystkich znalezionych cząsteczek, zastosowanie więc roz-

różnienia wprowadziłoby chaos w jego pracę. Po trzecie, system komputerowy zezwala na zdefiniowanie jedynie 70 klas użytkownika, więc należałoby oszczędnie szafować tą możliwością, aby nie doszło do przypadku, gdy pojawia się na rynku nowy rodzaj amunicji, a eksperci nie mają fizycznej możliwości reakcji na ten fakt.

W celu sprawdzenia tworzonego systemu powszechnie rekasyfikowano dane zarejestrowane metodą ROI, przy użyciu metody STRIP. To podejście działało na zasadzie sprzężenia zwrotnego. Zakładano pewne wartości lower *K-Ratio*, a następnie sprawdzano, jak sobie radzą w konkretnych sprawach. Po rekasyfikacji porównywano wyniki uzyskane obiema metodami – wykorzystując przede wszystkim manualne przyporządkowanie określonych pierwiastków do poszczególnych klas. W przypadku ewidentnych omyłek systemu zmieniano wartości *K-Ratio* i dokonywano kolejnej rekasyfikacji, aż do uzyskania satysfakcjonujących powtarzalnych wyników w różnych sprawach. Sprawy dobrano w taki sposób, aby obecne były w nich cząsteczki zawierające (sprawiające problemy) układy, np. Sb-Ca, Sn-Sb, a uzyskane wyniki otrzymano przy użyciu finalnej wersji metody STRIP (tab. 9).

Metoda klasyfikacyjna ROI jest bardzo nieprecyzyjna. Faktu, że nie radzi sobie z silnie nakładającymi się liniami i złożoną amunicją, nie kryje nawet autor programu w dołączonym manualu. ROI słabo rozróżnia mosiądz od czystego cynku i miedzi, ma problemy ze srebrem, strontem, niklem, a nawet żelazem. Metoda STRIP nie jest doskonała, np. zawodzi, gdy linia L ołowiu jest słabo widoczna lub jest bardzo mało konkretnego pierwiastka. Bardzo rzadko jednak klasyfikuje źle, czasami sklasyfikuje daną cząsteczkę jako nieustaloną – co zmusza operatora do starannejszego przejrzania właśnie tej grupy. Na ogół jednak precyzja oznaczenia jest bardzo duża.

W opisany powyżej sposób wyznaczono wartości lower *K-Ratio* dla wszystkich używanych klas GSR. Nie jest to wersja ostateczna. Dobrze

Tabela 9

Zestawienie przykładowych wyników uzyskaną metodą ROI oraz STRIP w wyniku reklasyfikacji
 Comparison of exemplary results by means of ROI and STRIP methods resulting from reclassification

Sprawy ►	Sprawa 1		Sprawa 2		Sprawa 3		Sprawa 4		Sprawa 5	
▼Klasy cząsteczek	ROI	STRIP	ROI	STRIP	ROI	STRIP	ROI	STRIP	ROI	STRIP
2-COMPONENT*	11	3			2	9	5	6	3	5
3-COMPONENT**	15		15		18	8	28		11	5
Au (High Cu)					1	1				
Ag	15					1			1	1
BaAl	2				1		7			
BaCa		1						1		
BaCaSi	6		6	3		1	7	7		2
BaONLY	73	40	4		3	1	5	1		
BaSO ₄	14	1			25	25	1			17
Bi										1
Ca	11		1	1	1					
Cu	1		1	4	5	6				2
Fe	27	9	1	1	106	112				77
CuZn			2	1	68	67				29
CuNi					20	5				5
LaCe	2				7	8	3		8	8
Ni					1	14				3
PbONLY	2	3		2	5	4		9	6	7
PbCl/Br					1	1				
PbSn		7								
PbCa					1	1			1	2
PbCaBa								6		
PbSnBa	371	16	39							
PbSnSb		47								
PbSnCa		1		1						
PbSnBaCaSi		1		38						
PbCaBaSi				1		2		22		2
PbSnSbBa		136								
PbSn				12						
SbONLY	8				4				6	
Sn	2	4		3		4				5
SnBa	4	217								
SnBaCaSi		28		16						
SnCaBa		8								
SnSb	22	10	7			1				
SnSbBa		162	10							
Sr/Zr/Mo	13									
SSnSb	162				4				5	
SSb						3				6
Tl					2					
Unclassified	445	501	1	3	5	5		4		1
(Pb)SCIKSnSb					1				1	
W									1	1
Zn	5	16		1	13	15			4	8
SUMA	1211	1211	87	87	294	294	56	56	187	187

* sumaryczna liczba cząsteczek PbSb, PbBa, SbBa, ** liczba cząsteczek PbSbBa

zdefiniowana klasa musi sprawdzić się w codziennej rutynowej pracy i na tej podstawie należy dopracowywać jej parametry. Nie ma w takim podejściu żadnego zagrożenia, gdyż zmiany parametrów pracy podczas ustalania klasy nie mają przełożenia na liczbę znalezionych cząsteczek, a jedynie na ich późniejszą klasyfikację. Pozostała jeszcze kwestia omówienia pozostałych wartości czterech parametrów sterujących zdefiniowaniem klasy. Na podstawie przeprowadzonych reklasyfikacji są zalecane następujące wartości:

- **P/B Ratio** – 1/1,
- **CPS Threshold** – 25 cps,
- **Gate Error Major/Minor** – 15%,
- **Maximum Particles/Stub** – 20.

Najkorzystar zasługuje wartość P/B równa 1/1. W tym przypadku znana z chemii analitycznej zależność, że aby sygnał można było uznać za znaleziony, jego intensywność musi być 3 razy większa od tła, nie sprawdza się. Takie ustawienie tego parametru i wartości CPS Thre-

shold = 25 cps pozwala poprawić detekcję ołowiu bez utraty zdolności rozdzielczej. Jednak godne przemyślenia jest ustawienie dla cząsteczek unikalnych wartości co najmniej 20, aby zaoszczędzić czas analizy. Stosowano zasadę, że im więcej elementów w cząsteczce, tym niższy próg *lower K-Ratio*. W przypadku cząsteczek jednoelementowych założono, że minimalną wartością *lower K-Ratio* jest 0,20.

Podsumowanie

Wprowadzony w połowie ubiegłego roku w CLK KGP system klasyfikacji cząsteczek GSR-STRIP sprawdził się podczas wykonywania ekspertyz. Główną jego zaletą jest skrócenie czasu przeznaczanego przez eksperta na manualną weryfikację uzyskanych wyników z uwagi na ich precyzję. Jednak zawsze trzeba mieć na uwadze, że najważniejszą instancją w ich ocenie jest ekspert, to na nim zawsze spoczywa obowiązek in-

terpretacji wyników i wyciągnięcia z nich prawidłowych wniosków.

W niedalekiej przyszłości planowana jest wymiana platformy badawczej mikroskopu elektronowego z XL na Quanta, co umożliwi dalszy rozwój pracowni mikroskopii elektronowej.

BIBLIOGRAFIA

1. FEI Philips., The Philips XL-SEM Basic Course – podstawowe materiały szkoleniowe dla operatorów mikroskopów elektronowych firmy Philips.
2. FEI Philips, GSR-NT, User's Manual – ver. 3.2 25, August 2000.
3. Filewicz A.: Nowa generacja skaningowych mikroskopów elektronowych (SEM), „Problemy Kryminalistyki” 1996, nr 213.
4. Halberstam R.C.: A Simplified Probability Equation for Gunshot Primer Residue (GSR) Detection, „J. Forensic Sci”, May 1991, vol. 36 No. 3.
5. Filewicz A.: Kryminalistyczne badania pozostałości po wystrzale z broni palnej (GSR), Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego, Warszawa 2001.
6. Romolo F.S.: Standardization in Gun Shot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy, „I.A.M. A International Association for Microanalysis March”, 2002,22, Vol. 3 Issue 1.
7. Mosher P.V., McVicar M.J., Randall E.D., and Sild E.H.: Gunshot Residue-Similar Particles Produced by Fireworks, „Can. Soc. Forensic. Sci. J.” 1998, Vol. 31, No. 2, pp. 157–168.
8. Torre C., Mattutino G., Vasino V., Robino C.: Brake Linings A Source of Non GSR Particles Containing Lead, Barium and Antimony, „J. Forensic Sci.” July 2002, vol. 47, No. 3 494–504.
9. Giacalone J.R.: Lead Particles from Non-Firearm Sources, „I.A.M. A International Association for Microanalysis September” 2001, 28, vol. 2 Issue 2.
10. EDAX – „EDAX Control Software – Reference Manual” – ver. 3.2, August 2000.
11. Donten M.L., Donten M.: Mikrosonda elektronowa (EDS), „Analityka” 2002, nr 1.

Drodzy Czytelnicy

We wrześniu 2005 roku przypada 50. rocznica powstania czasopisma „Problemy Kryminalistyki”.

Okres ten skłania do podsumowań.

Wszystkich zainteresowanych problematyką kryminalistyczną serdecznie zapraszamy do dyskusji na łamach naszego periodyku.

Wszelkie propozycje dotyczące zakresu specjalistycznej wiedzy publikowanej w „Problemach Kryminalistyki”, podniesienia ich prestiżu i popularności na rynku wydawniczym zostaną opublikowane.

Redakcja serdecznie dziękuje swoim stałym Autorom za dotychczasową współpracę i zaprasza do jej kontynuacji.

Czytelnikom życzymy, aby w wydawnictwie CLK KGP zawsze mogli znaleźć opracowania, które przyczynią się do pogłębienia wiedzy i będą szczególnie pomocne w rozwiązywaniu trudnych spraw wykrywczych i dowodowych.

Redakcja