

Załącznik 2

Autoreferat

1. Imię i nazwisko: **Zuzanna Brożek-Mucha**

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- Studia doktoranckie: Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii,
doktor nauk chemicznych – kwiecień 1994,
praca obroniona z wyróżnieniem.

Tytuł pracy doktorskiej: „Studium strukturalnych aspektów własności optycznych w wybranych fazach krystalicznych winianów”.

Promotor: prof. dr hab. Stanisław Hodorowicz.

- Studia magisterskie: Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii,
magister chemii – czerwiec 1988.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2009 – 2012 adiunkt w Zakładzie Chemii Analitycznej Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego (1/4 etatu).

1998 – nadal biegły Instytutu w zakresie kryminalistycznych badań fizykochemicznych.

1999 – nadal adiunkt w Zakładzie Kryminalistyki Instytutu Ekspertyz Sądowych.

1995 – 1998 asystent w Zakładzie Kryminalistyki Instytutu Ekspertyz Sądowych.

1993 – 1994 asystent w Zakładzie Krystalochemii i Krystalofizyki Wydziału Chemii UJ.

1989 – 1993 słuchacz Środowiskowego Studium Doktoranckiego przy Wydziale Chemii UJ.

1988 – 1989 asystent w Zakładzie Krystalochemii i Krystalofizyki Wydziału Chemii UJ.

4. Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z dnia 14 marca 2003, Dz. U. poz. 595 ze zm.) jest jednotematyczny cykl publikacji pt. ***Chemiczne i morfologiczne aspekty badań śladów powystrzałowych metodą mikroanalizy rentgenowskiej.***

4. a Dane bibliograficzne

- H1. Brożek-Mucha Z., SEM-EDX study of inorganic gunshot residues from Makarov 9 mm ammunition, Problems of Forensic Sciences, 2000, XLI, 62 – 89.
- H2. Brożek-Mucha Z., Jankowicz A., Evaluation of the possibility of differentiation among various types of ammunition by means of GSR examinations with SEM-EDX, Forensic Science International, 2001, 123(1), 39 – 47.
- H3. Zadora G., Brożek-Mucha Z., SEM-EDX – a useful tool for forensic examinations, Materials Chemistry and Physics, 2003, 81, 345 – 348.
- H4. Brożek-Mucha Z., Zadora G., Grouping of ammunition types by means of frequency of occurrence of GSR, Forensic Science International, 2003, 135(2), 97 – 104.
- H5. Steffen S., Otto M., Niewoehner L., Barth M., Brożek-Mucha Z., Biegstraaten J., Horvath R., Chemometric classification of gunshot residues based on energy dispersive X-ray microanalysis and inductively coupled plasma analysis with mass-spectrometric detection, Spectrochimica Acta part B, 2007, 62, 1028 – 1036.
- H6. Brożek-Mucha Z., Comparison of cartridge case and airborne GSR – a study of their elemental contents and morphology by means of SEM-EDX, X-ray Spectrometry, 2007, 36, 398 – 407.
- H7. Brożek-Mucha Z., Distribution and properties of gunshot residue originating from a Luger 9 mm ammunition in the vicinity of the shooting gun, Forensic Science International, 2009, 183, 33 – 44.
- H8. Brożek-Mucha Z., Variation of the chemical contents and morphology of gunshot residue in the surroundings of the shooting pistol as a potential contribution to a shooting incidence reconstruction, Forensic Science International, 2011, 210, 31 – 41.
- H9. Brożek-Mucha Z., Chemical and morphological study of gunshot residue persisting on the shooter by means of scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry, Microscopy and Microanalysis, 2011, 17, 972 – 982.
- H10. Brożek-Mucha Z., Wąs-Gubała J., Microscopic and microanalytical examinations of metallic particles and single textile fibres for forensic purposes, (in:) Current microscopy contributions to advances in science and technology, Microscopy Book Series Number 5, A. Mendez-Vilas (ed.), Formatex Research Center, Badajoz 2012, vol. 2. 1480 – 1491. ISBN-13 Vol. 2: 978-84-939843-6-6

4. b Omówienie celu naukowego wymienionych prac i osiągniętych wyników oraz ich wykorzystania

Od ponad 15 lat moim obszarem badawczym jest chemia sądowa i wchodzące w jej zakres badania śladowych ilości różnorodnych substancji chemicznych tworzących ślad na miejscu przestępstwa i stanowiących materiał dowodowy na potrzeby wymiaru sprawiedliwości. W zakresie podstawowym badania składu i właściwości chemicznych mikrośladów prowadzą do ich identyfikacji, a więc ustalenia klasy materiału lub przedmiotów, z jakiej pochodzą (*klasyfikacja*), jak również do porównania z materiałem odniesienia, gdy jest on dostępny badaniom (*dyskryminacja*). Przeprowadza się również bardziej zaawansowane badania naukowe, np. w celu określenia wzajemnych zależności pomiędzy właściwościami chemicznymi i fizycznymi ujawnianych mikrośladów a ich źródłem, jak również poznania procesów ich powstawania oraz przenoszenia się z jednego podłoża na inne (*przeniesienie pierwotne i wtórne*).

Materiał badawczy w postaci mikrośladów cechuje jego znikoma ilość mierzona w mikro-, nano- a nawet pikogramach, a także trudność oddzielenia go od materiału podłoża. Co więcej, mikroślad jako dowód materialny w sprawie sądowej nie powinien ulec zniszczeniu bądź zużyciu w trakcie badań chemicznych. Stawia to wysokie wymagania wobec techniki analizy chemicznej mikrośladów, w szczególności to, aby wykorzystywane metody mikroanalityczne były „nieniszczące”. Należą do nich techniki mikroskopii optycznej i elektronowej, techniki mikrospektrometryczne m.in. w zakresie UV-VIS i podczerwieni oraz techniki wykorzystujące promieniowanie rentgenowskie, zarówno dyfrakcyjne, jak i spektrometryczne. Metody analityczne opracowane z zastosowaniem tych technik mają swoje zalety i wady. Pozwalają one na ustalenie składu chemicznego badanych materiałów, a w przypadku próbek stałych także struktury i odmiany krystalicznej poszczególnych składników. Nie wszystkie jednak mają zastosowanie w przypadku konieczności przeprowadzenia badań pojedynczych drobin o rozmiarach rzędu jednego mikrometra.

Zatem spośród wymienionych technik szczególnie przydatna jest elektronowa mikroskopia skaningowa sprzężona ze spektrometrią promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDX). Po opracowaniu odpowiedniej metodyki analitycznej daje ona szerokie możliwości badawcze dla mikroskopijskich próbek substancji chemicznych bądź złożonych materiałów w postaci stałej, umożliwia przeprowadzenie jednoczesnych badań ich składu

chemicznego i morfologii, a dodatkową jej zaletą jest fakt, iż nie wymaga ona zniszczenia próbki ani w procesie jej przygotowania do analizy, ani podczas pomiaru. Technika ta jest wykorzystywana przeze mnie do badań identyfikacyjnych i porównawczych materiałów dowodowych, takich jak m.in. drobiny szkła i lakierów, metali, tonerów do drukarek, niektórych trucizn nieorganicznych, szkieletów okrzemek, morfologii włókien tekstylnych, zakończeń przerwanych żarników oświetlenia samochodowego, jak również pozostałości powybuchowych i powystrzałowych.

Moje zainteresowania naukowe, badawcze i eksperckie skupiają się szczególnie na analizie śladów pozostawionych po użyciu broni palnej. Spośród nich specjalne znaczenie mają metaliczne cząstki pochodzące ze spłonki, które wykazują niepowtarzalne właściwości fizykochemiczne i w związku z tym stanowią materiał o wysokiej wartości dowodowej. Już bowiem kilka cząstek o łącznej masie nieprzekraczającej 100 pikogramów może stanowić dowód uczestnictwa danej osoby w zdarzeniu z użyciem broni palnej. Pomimo tak istotnych zalet cząstki te nie były wcześniej badane w Polsce.

Podstawowym kryterium identyfikacji metalicznych cząstek powystrzałowych jest ich skład pierwiastkowy, tj. rzadko spotykany w otoczeniu człowieka zestaw pierwiastków metalicznych: ołowiu, antymonu i baru, jak również morfologia odzwierciedlająca burzliwość zachodzących podczas wystrzału procesów fizykochemicznych, w szczególności szybkie przejście kropli metali z fazy ciekłej do stałej uniemożliwiające uporządkowanie struktury. Opracowany na podstawie doświadczeń z tzw. amunicją tradycyjną i używany rutynowo od ok. 1980 roku przez ekspertów z Europy Zachodniej i USA formalny schemat klasyfikacji śladów powystrzałowych obejmował podział na cząstki *unikatowe* (ang. *unique*) oraz *indykatywne* (ang. *indicative*). Za cząstki unikatowe, czyli pozwalające na wydanie kategorycznej opinii o stwierdzeniu obecności śladów powystrzałowych, uważano cząstki zawierające ołów, antymon i bar (Pb-Sb-Ba). Za indykatywne, czyli pozwalające na wnioskowanie z dużym prawdopodobieństwem o obecności śladów powystrzałowych, uznano dwuskładnikowe cząstki zawierające ołów, antymon i bar (Pb-Sb, Pb-Ba, Sb-Ba), jednoskładnikowe drobiny ołowiu, antymonu i baru (Pb, Sb i Ba), a w późniejszym czasie również cząstki zawierające bar, wapń i krzem (Ba-Ca-Si). Około roku 2003 w Europie odstąpiono od terminów *unikatowe* i *indykatywne* na rzecz określeń *charakterystyczne* (ang. *characteristic*) oraz *zgodne z powystrzałowymi* (ang. *consistent with gunshot residue*). Wpływ na to miała publikacja L. Garofano i in. (Forensic Science International, 1999, v. 103, pp. 1–

21), w której autorzy przedstawili pojedynczą cząstkę trójskładnikową o obłych kształtach, a więc o morfologii przypominającej cząstkę powystrzałową, jednak ujawnioną pośród mikrośladów pobranych z klocków hamulcowych samochodu. Obecnie zatem nie nadaje się identyfikacji cząstek powystrzałowych znamion pewności, lecz dużego prawdopodobieństwa, podobnie zresztą jak w przypadku badań fizykochemicznych wszelkich innych mikrośladów. Niemniej, nadal cząstkom trójskładnikowym, zwłaszcza licznie występującym w danym materiale, przyporządkowana jest najwyższa wartość dowodowa.

Ustalenie obecności metalicznych cząstek powystrzałowych w materiale pobranym z rąk lub odzieży osoby podejrzanej pozwala stwierdzić z bardzo dużym lub dużym prawdopodobieństwem, że osoba ta strzelała, dotykała broni, z której strzelano lub jakiegokolwiek zanieczyszczonego pozostałościami powystrzałowymi przedmiotu albo znajdowała się w bezpośrednim pobliżu, gdy oddano strzał z broni palnej.

Moje badania obaliły stereotypowe przekonanie, iż analiza metalicznych cząstek powystrzałowych nie wnosi informacji na temat rodzaju amunicji, z jakiej one pochodzą. Również pierwsze pytania adresowane do mnie jako chemika sądowego przez praktyków wymiaru sprawiedliwości dotyczyły możliwości nie tylko powiązania osoby z faktem użycia broni palnej, lecz także typowania rodzaju użytej w przestępstwie amunicji jedynie na podstawie wykrytych pozostałości powystrzałowych. Zatem jednym z celów moich badań stało ustalenie korelacji pomiędzy właściwościami chemicznymi śladów powystrzałowych a składem chemicznym amunicji.

Na możliwość rozwiązania tego problemu wskazywały już uzyskane przeze mnie wyniki wstępnych badań składu chemicznego cząstek powstających podczas użycia amunicji produkcji polskiej ukazujące brak cząstek zawierających jednocześnie ołów, antymon i bar. Stąd wywnioskowałam, iż skład chemiczny spłonki amunicji występującej na rynku krajowym jest odmienny od tego, jaki występował w amunicji używanej w Europie zachodniej, a w dalszej konsekwencji uznałam, że formalny schemat klasyfikacji cząstek powystrzałowych i oceny ich wartości dowodowej może być niewystarczający do rzetelnego wykonywania opinii. Zainspirowało mnie to do przeprowadzenia własnych badań naukowych.

Na rozbieżność pomiędzy formalnym schematem oceny wartości dowodowej cząstek powystrzałowych a możliwością ujawnienia cząstek, pochodzących z innych niż tradycyjne rodzaje spłonek, zwrócili również uwagę F. S. Romolo i P. Margot w swojej pracy na temat

identyfikacji cząstek powystrzałowych (Forensic Science International, 2001, v. 119, pp. 195–211). Zaproponowali oni inne - indywidualne podejście do oceny wartości dowodowej pozostałości wykrytych w badanym zdarzeniu w oparciu o dowody ściśle związane z tym zdarzeniem (ang. *case-to-case*), a nie z arbitralnym schematem. Większość ówczesnych prac odnosiła się, bowiem, do identyfikacji cząstek powystrzałowych zawierających ołów, antymon i bar, a więc jedynie do stwierdzenia, czy są one obecne w próbce i ewentualnie czy są one odróżnialne od cząstek o podobnym składzie chemicznym, lecz pochodzących z innych źródeł niż użycie broni palnej. Na skutek użycia nowoczesnej amunicji bezołowiowej, zawierającej w składzie spłonki np. sproszkowany glin lub tytan jako reduktor mogą się formować kuliste cząstki zawierające te metale. Podjęłam zatem badania skryningowe ukierunkowane na analizę cząstek metalicznych pochodzących z procesu spawania zarówno elementów stalowych, jak i aluminiowych, mając na uwadze możliwość powstawania kulistych cząstek zawierających glin lub tytan pochodzący z otulin elektrod spawalniczych zawierających rutil.

Innym ważnym pytaniem było, czy chemiczne badania ujawnionych śladów powystrzałowych pozwolą na ustalenie wzajemnej pozycji osób biorących udział w zdarzeniu z użyciem broni palnej, a więc na dokonanie rekonstrukcji zdarzenia. Pierwsze prace na temat rozprzestrzenia się i zasięgu chmury pozostałości powystrzałowych miały jednak charakter bardziej rzeczoznawczy niż naukowy, ponieważ ograniczały się do wykonania zdjęć gazów prochowych pochodzących z użycia różnego kalibru broni i amunicji za pomocą szybkiej kamery (urządzenia rejestrującego obrazy z szybkością rzędu 10 000 ujęć na sekundę; A. J. Schwoeble i D. L. Exline, *Current methods in forensic gunshot residue analysis*, 2000, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.). Późniejsze publikacje dotyczyły jedynie liczebności cząstek, lecz pomijały aspekt chemiczny (L. Fojtasek i in., *Forensic Science International*, 2003, v.132, pp. 99-105).

Na podstawie własnych doświadczeń badawczych z zastosowaniem techniki SEM-EDX doszłam do wniosku, że może ona zostać wykorzystana do analizy śladów powystrzałowych w znacznie większym stopniu, niż miało to dotychczas miejsce. W związku z tym podjęłam badania mające na celu nie tylko opracowanie metodyki identyfikacji śladów powystrzałowych, lecz głównie *zrozumienie współzależności pomiędzy ich składem chemicznym oraz morfologią, a źródłem i mechanizmem ich powstawania oraz rozprzestrzeniania się* podczas zdarzeń będących przedmiotem postępowania sądowego.

Prezentowany cykl publikacji naukowych przedstawia rezultaty badań metodą mikroanalizy rentgenowskiej składu chemicznego i cech morfologicznych cząstek metalicznych rozpraszanych w przestrzeni i czasie po użyciu broni palnej. Badania te zostały oparte na gruntownie przeze mnie opracowanej metodyce analizy składu chemicznego metalicznych cząstek powystrzałowych techniką SEM-EDX, interpretacji uzyskiwanych tą techniką wyników pomiarowych i opracowania statystycznego wyników analitycznych.

Najważniejsze cele poznawcze przeprowadzonych badań naukowych objęły:

- określenie korelacji pomiędzy składem chemicznym populacji cząstek metalicznych a rodzajem amunicji, z jakiej pochodzą;
- ustalenie wzajemnych zależności pomiędzy składem chemicznym i morfologią cząstek metalicznych rozproszonych podczas wystrzału a składem i morfologią cząstek pozostających we wnętrzu łuski po użyciu jednego i tego samego naboju – krytyczne studium porównawcze dla pozostałości wybranych typów spłonek;
- ustalenie zależności składu chemicznego, liczebności i cech morfologicznych populacji cząstek metalicznych od odległości od broni palnej w kierunku strzału i w kierunku przeciwnym, tj. dla próbek pobranych z tarcz usytuowanych w odległości 10 – 100 cm oraz dłoni i odzieży osoby strzelającej;
- dokonanie jakościowego opisu mechanizmu formowania się i dyspersji cząstek powystrzałowych oraz ocena wpływu składu chemicznego poszczególnych części amunicji na te procesy;
- ustalenie kinetyki utraty cząstek z różnych podłoży oraz określenie wpływu składu chemicznego i cech morfologicznych cząstek na ten proces;
- uzyskanie informacji nt. rozpowszechnienia cząstek powystrzałowych oraz ryzyka wzięcia za powystrzałowe cząstek środowiskowych na podstawie badań skryningowych.

Przeprowadzone badania mają również istotny walor aplikacyjny, bowiem metaliczne cząstki powystrzałowe zalicza się w naukach sądowych do mikrośladów o wysokiej wartości dowodowej. Do ważniejszych celów aplikacyjnych należały:

- opracowanie procedury badawczej metalicznych cząstek powystrzałowych i wdrożenie jej do praktyki opiniodawczej, w tym wytypowanie rodzaju materiałów dowodowych w sprawie postrzału oraz opracowanie własnych kryteriów interpretacji wyników badań cząstek metalicznych celem powiązania osoby podejrzanej z faktem użycia broni palnej,
- wszechstronne wykorzystanie uzyskanych informacji o dystrybucji cząstek metalicznych na osobie strzelającej i w jej otoczeniu do wyjaśniania okoliczności zdarzeń z użyciem broni palnej, takich jak np. szacowanie odległości, z jakiej oddano strzał, typowanie użytej w zdarzeniu amunicji jedynie na podstawie chemicznej analizy pozostałości powystrzałowych oraz ustalanie wzajemnego położenia osób na miejscu zdarzenia celem dokonania rekonstrukcji zdarzenia z użyciem broni palnej.

Opracowanie metodyki badań składu chemicznego metalicznych cząstek powystrzałowych

Dla zrealizowania sformułowanych celów poznawczych przeprowadziłam na wstępie badania metodologiczne zmierzające do opracowania procedury analitycznej drobin metalicznych techniką SEM-EDX. Podstawowym jej założeniem było ustalenie składu chemicznego cząstek o określonych cechach morfologicznych, tj. na ogół kulistym kształcie i przedziale wartości efektywnej średnicy od 0,5 mikrometra do kilkudziesięciu mikrometrów, zarówno metodą manualną, jak i z zastosowaniem programu do automatycznego wyszukiwania cząstek.

Opracowana procedura badawcza jest wieloetapowa [H1, H2].

Przygotowanie materiału do badań obejmuje w pierwszej kolejności pobranie próbki poprzez wielokrotne przyłożenie metalowego stolika pokrytego materiałem przylepnym do interesującej powierzchni np. powierzchni skóry dłoni lub odzieży osoby strzelającej w celu pobrania reprezentatywnej próbki mikrośladów oraz ich koncentracji na niewielkiej powierzchni próbnika. Następnie próbka jest pokrywana warstwą grafitu w napyłarce pomimo tego, iż poszukiwany materiał jest na ogół przewodzący. Zabieg ten zapobiega gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego na powierzchni drobin materiałów nieprzewodzących, np. fragmentów naskórka, mikrowłókien tekstylnych, czy włosów, które zwykle towarzyszą cząstkom metalicznym pobranym z różnych podłoży. W ten sposób zapewnienia się przewodnictwo elektryczne na powierzchni próbek warunkujące dobrą jakość

obserwowanych obrazów, a w rezultacie prawidłowe zebranie widma rentgenowskiego. Napylenie próbek węglem zapobiega również gromadzeniu energii cieplnej przez materiał przylepny, którym pokryty jest stół. W przeciwnym razie mogłoby dojść do jego mięknięcia i zanurzenia w nim cząstek, co byłoby równoznaczne ze zniszczeniem badanego materiału.

Proces pomiarowy wymaga dokonania następujących czynności: obserwacji obrazu z wykorzystaniem detekcji elektronów wstecznie rozproszonych, aby ustalić położenie cząstek o interesującej średniej wartości liczby atomowej, następnie zebrania widma rentgenowskiego i obserwacji obrazu dla każdej indywidualnej cząstki. We współczesnych, zintegrowanych systemach SEM-EDX istnieje możliwość zautomatyzowania części tego procesu w zakresie lokalizacji cząstek i rejestrowania ich widm rentgenowskich. Po uprzednim zoptymalizowaniu parametrów pomiaru, może on być prowadzony za pomocą programu do automatycznego poszukiwania cząstek metalicznych, a po jego wykonaniu badacz dokonuje manualnego potwierdzenia klasy chemicznej ustalonej dla każdej z cząstek na podstawie otrzymanego widma rentgenowskiego, jak również dokonuje obserwacji oraz zapisu obrazu cząstki w celu zbadania jej morfologii.

Opracowana i zastosowana w toku moich prac procedura badawcza zapewniała wykrywanie cząstek o średnicy, co najmniej, 1 mikrometra dzięki odpowiedniemu doborowi takich parametrów, jak rozdzielczość obrazu, napięcie i natężenie wiązki elektronowej oraz czas analizy pojedynczej próbki.

Lokalizacja cząstek, zapis ich widm rentgenowskich i obrazów metodą manualną jest procesem czasochłonnym i angażującym człowieka, toteż pod względem ekonomicznym ustępuje ona metodzie automatycznej. Za metodą automatyczną przemawiają również przeprowadzone przeze mnie badania powtarzalności uzyskiwanych wyników dotyczących wykrywanej liczby cząstek, uzyskanych poprzez trójkrotny pomiar danej próbki. Na podstawie analizy wyników powtórzeń z zastosowaniem testu t-Studenta wykazałam, że pomiar metodą automatyczną jest wystarczająco powtarzalny [H2]. Przeprowadziłam analizę porównawczą pojedynczych wyników pomiaru przeprowadzonych zarówno metodą manualną, jak i automatyczną dla danej próbki z licznymi cząstkami metalicznymi. Bezwzględna liczba cząstek wykrytych manualnie (ok. 1500 szt.) była większa niż ta uzyskana automatycznie (ok. 700 szt.). Na podstawie badania rozkładu liczby cząstek w różnych zakresach ich średnic ustaliłam, iż manualnie została wykryta znacznie większa liczba cząstek o średnicy poniżej 1 mikrometra (ok. 800 szt.), tj. poniżej zadanej w metodzie

automatycznej dolnej granicy rozmiaru wykrywanych cząstek. Natomiast po odrzuceniu cząstek o średnicach poniżej 1 mikrometra liczby wykrytych cząstek były porównywalne dla metody manualnej i automatycznej i wynosiły po ok. 700 [H2]. Badanie to dostarczyło dodatkowego argumentu za stosowaniem znacznie szybszej metody automatycznej wykrywania cząstek metalicznych.

Kolejnym istotnym celem badań metodologicznych było opracowanie metody analizy składu chemicznego całości populacji cząstek wykrytych w danej próbce w celu umożliwienia porównania próbek pomiędzy sobą, gdyż wyniki pomiarów poszczególnych próbek różnią się ogólną liczbą wykrytych cząstek, jak i liczebnością ich klas chemicznych oraz parametrami opisującymi ich cechy morfologiczne jak np. efektywna średnica. Zmienność ta jest charakterystyczną cechą pozostałości powystrzałowych wynikającą w głównej mierze z dynamicznych warunków ich formowania i rozprzestrzeniania się, jak również ich oddziaływania z napotkanymi przeszkodami. Znacznie mniejszy wpływ mają na to warunki zewnętrzne, indywidualne właściwości skóry ludzkich dłoni (ewentualnie innych podłoży), liczba przyłożeń stolika z materiałem przylepnym oraz metoda pomiaru manualna czy automatyczna [H1, H2].

Aby dokonać porównań populacji wykrytych cząstek pod względem chemicznym zamiast ich liczby bezwzględnej zastosowałam częstości występowania cząstek o danej klasie chemicznej. Ten zabieg umożliwił ilościowe scharakteryzowanie składu chemicznego całej populacji cząstek w danej próbce poprzez określenie rozkładu cząstek w próbce według klas chemicznych. Taka reprezentacja uzyskanych wyników została przeze mnie zastosowana w pracach H1 – H4, H6 – H9. Podobne ujęcie zastosowałam również w badaniach efektywnej średnicy jako parametru opisującego morfologię cząstek w danej próbce [H7 – H9], omówionych w dalszej części autoreferatu.

Wyniki analiz 135 próbek pochodzących z jednej i tej samej partii amunicji [H9] stały się okazją do zaobserwowania interesujących zjawisk, które wyjaśniają niektóre przyczyny zmienności ogólnej liczby ujawnianych cząstek. Jednym z nich było oddziaływanie cząstek metalicznych z podłożem skutkujące ich rozbiciem na liczne fragmenty o kształcie wielokątnych płytek. Rozpatrywanie morfologii każdej takiej płytki z osobna prowadzi na ogół do jej eliminacji spośród cząstek powystrzałowych jako niespełniającej kryterium morfologicznego, gdyż nie wykazuje ona cech nagłego skrzepnięcia, jak to ma miejsce np. w przypadku cząstek kulistych. Drugim efektem była agregacja cząstek metalicznych na skutek

wzajemnych zderzeń lub zatopienia ich dużej liczby w materiale stanowiącym proch strzelniczy, jak wykazałam na podstawie interpretacji widma IR, zmierzonego dla takich drobin. Zwykle cząstki metaliczne zatopione w ziarnie prochu mają rozmiary mniejsze od 1 mikrometra, tj. poniżej założonej dolnej granicy wykrywalności cząstek za pomocą programu, który w takich przypadkach rejestruje znaczną ich liczbę, lecz do uznania badacza należy ustalenie, czy jest to pojedyncza, choć złożona drobina o znacznych rozmiarach, np. kilkudziesięciu, a nawet stu lub dwustu mikrometrów, czy też duża liczba małych drobin [H9].

Należy podkreślić, że o ile bezwzględna liczba ujawnionych cząstek w poszczególnych próbkach pochodzących z użycia naboju tej samej partii amunicji wykazuje znaczną zmienność, to parametry opisujące całość próbki jako grupę cząstek, obliczone na podstawie uzyskiwanych danych surowych, m.in. częstość występowania cząstek w poszczególnych klasach chemicznych, średnie wartości efektywnej średnicy cząstek oraz parametru wiążącego średnicę cząstek danej klasy chemicznej z ich gęstością (oszacowaną jako średnia arytmetyczna gęstości występujących w nich składników) charakteryzują się dobrą powtarzalnością. Wykazałam to dokonując analizy wariancji wymienionych parametrów uzyskanych podczas badań rozkładu przestrzennego cząstek pochodzących z dwóch typów amunicji produkcji krajowej [H7, H8].

Dane w postaci częstości występowania cząstek w poszczególnych klasach chemicznych posłużyły m.in. do zbadania zgodności pomiędzy próbkami pochodzącymi z użycia jednej i tej samej sztuki amunicji, jak również pomiędzy próbkami pochodzącymi z kilku różnych naboju z tej samej amunicji. W tym celu wykorzystałam przykłady testów korelacji rangowej *R*-Spearmana i τ -Kendalla. Obydwa podejścia wykazały zgodność porównywanych próbek cząstek powystrzałowych pod względem składu chemicznego potwierdzając prawidłowość przyjętych procedur badawczych cząstek metalicznych [H1, H2].

Podsumowując opisane powyżej badania metodologiczne należy stwierdzić, iż w pierwszej kolejności objęły one opracowanie i optymalizację procesu pomiarowego próbek mikrośladów w kierunku wykrywania pojedynczych cząstek metalicznych o określonym składzie chemicznym i cechach morfologicznych, a w kolejnym etapie opracowanie metody badania wymienionych cech dla całości próbki jako grupy cząstek. Opracowana metodyka badawcza stanowiła podstawę do uzyskania informacji na temat zależności właściwości

chemicznych i parametrów określających cechy morfologiczne populacji cząstek od czynników, takich jak rodzaj amunicji, odległość od broni, rodzaj podłoża, na których się osadzają, a także czas, jaki upłynął od momentu ich osadzenia na danym podłożu do pobrania próbki do badań.

Zależność składu chemicznego cząstek metalicznych od ich źródła, tj. rodzaju amunicji

Przeprowadziłam systematyczne badania cząstek powystrzałowych, pochodzących z użycia sześciu rodzajów amunicji (Luger 9 mm, Makarow 9 mm, Tokariew 7,62 mm, Margolin 5,6 mm, Browning 6,35 mm oraz Browning 7,65 mm) [H2]. Materiał badawczy stanowiły próbki mikrośladów pobrane z dłoni osób strzelających bezpośrednio po wykonaniu strzałów testowych. Badania zostały przeprowadzone metodą automatyczną z wykorzystaniem programu do poszukiwania cząstek o zadanych cechach, zgodnie z opracowaną przeze mnie metodyką badawczą. Przedmiotem zainteresowania były cząstki o rozmiarach od 1 do kilkudziesięciu mikrometrów należące do jednej z siedmiu klas chemicznych zawierających ołów, antymon i bar występujące w różnych kombinacjach (Pb-Sb-Ba, Pb-Sb, Pb- Ba, Sb-Ba, Pb, Sb oraz Ba). Wyniki uzyskane dla każdej próbki zostały przedstawione w postaci częstości występowania cząstek o danej klasie chemicznej oraz poddane parami testom nieparametrycznym: korelacji rangowej Wilcoxona, Spearmana i Kendalla. Test Wilcoxona okazał się nieprzydatny do rozróżniania próbek drobin powystrzałowych pochodzących z badanych rodzajów amunicji. Natomiast tak test Spearmana, jak i Kendalla wykazały istotne różnice w proporcjach pomiędzy cząstkami poszczególnych klas chemicznych dla próbki pochodzącej z użycia amunicji Browning 7,65 mm w porównaniu z każdą z próbek pochodzących z pozostałych pięciu rodzajów amunicji demonstrując istnienie korelacji pomiędzy danym rodzajem amunicji i powstającymi z niej metalicznymi pozostałościami.

Dla danych stanowiących powtórzenie eksperymentów z użyciem tego samego rodzaju amunicji, tj. dla 10 próbek mikrośladów pochodzących z amunicji Makarow 9 mm produkcji polskiej, pomimo różnic w ogólnej liczbie wykrytych cząstek, zaobserwowałam podobieństwa w proporcjach pomiędzy cząstkami poszczególnych klas chemicznych, co potwierdziły również testy korelacji rangowej Spearmana i Kendalla [H1].

Kolejny etap badań objął badania próbek cząstek uzyskanych na drodze powtórzeń eksperymentów dla wybranych rodzajów amunicji (Luger 9 mm, Makarow 9 mm, Tokariew 7,62 mm i Browning 7,65 mm). Otrzymane wyniki analizy składu chemicznego cząstek zostały poddane analizie skupień metodą Warda, która wykazała, że badane próbki pozostałości powystrzałowych grupują się według rodzaju amunicji, z której pochodziły [H3, H4]. Ponadto przy uwzględnieniu cech dyskryminujących wytypowanych przy użyciu testu Manna-Whitneya utworzyłam schemat klasyfikacji cząstek pochodzących z czterech rodzajów amunicji, który umożliwił przyporządkowanie badanych próbek do jednej z trzech klas. Próbki cząstek pochodzących z amunicji Makarow 9 mm i Tokariew 7,62 mm wykazały wzajemne podobieństwo i utworzyły wspólne skupienie [H4].

Wykazane przeze mnie chemiczne zróżnicowanie populacji cząstek powystrzałowych w zależności od rodzaju amunicji, z jakiej pochodzą, spotkało się z zainteresowaniem ekspertów badających pozostałości powystrzałowe. Pozwoliło mi to na nawiązanie współpracy z badaczami z kilku instytutów i uniwersytetów rozwijających nauki sądowe, m.in. w Niemczech, Słowacji oraz Holandii i stało się inspiracją do realizacji wspólnych projektów badawczych. Ich celem były systematyczne badania pozostałości pochodzących z jednego rodzaju amunicji – Luger 9 mm, lecz różnych jej typów i producentów. Do badań zostało wytypowanych łącznie 15 rodzajów tej amunicji: 8 – należących do tradycyjnej amunicji ołowiowej i 7 – do amunicji bezołowiowej. Próbki drobin powystrzałowych zostały uzyskane z zastosowaniem dwóch różnych jednostek broni, przy użyciu specjalnie skonstruowanego stelażu na broń i na stoliki do mikroskopii elektronowej z materiałem przylepnym, usytuowane w czterech pozycjach: w odległości 10 cm od wyrzutnika łusek, 10 cm od wylotu lufy oraz w odległości 40 cm od wylotu lufy i 10 cm na lewo i prawo od osi strzału. Eksperymenty zostały przeprowadzone na strzelnicach w Wiesbaden oraz w Krakowie. Zestawy próbek mikrośladów pobranych z otoczenia broni zostały poddane analizie chemicznej metodą SEM-EDX w czterech laboratoriach z wykorzystaniem pięciu wariantów aparatury różnych producentów, w tym systemu należącego do wyposażenia Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie [H5].

Otrzymane przeze mnie wyniki badań zestawów próbek dla wszystkich rodzajów amunicji i obydwu egzemplarzy broni zostały porównane z tymi, które w podobny sposób zostały uzyskane za pomocą czterech innych systemów SEM-EDX w pozostałych laboratoriach. Analizie statystycznej poddawane były nie klasy chemiczne cząstek, jak

dotychczas, lecz widma charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego otrzymane dla co najmniej tysiąca cząstek metalicznych pochodzących z każdego rodzaju amunicji. Podejście to miało na celu wyeliminowanie konieczności potwierdzania przez badacza składu chemicznego każdej cząstki na podstawie wzrokowej oceny jej widma rentgenowskiego. Dla każdej z badanych amunicji zostały wyselekcjonowane klasy chemiczne cząstek, adekwatnie do składu chemicznego spłonki, ustalonego na podstawie badań techniką proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej. Z uwagi na operowanie macierzami o znacznych rozmiarach (1000 widm cząstek x 15 typów amunicji x 2000 punktów w widmie rentgenowskim) konieczna redukcja danych, która została przeprowadzona metodą szybkiej transformaty Fouriera (512 czynników). Zabieg ten pozwolił jednak na zachowanie informacji o innych składowych amunicji, niż spłonka, w formie linii charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego domieszek pierwiastków, takich jak np. miedź i cynk, w widmach rentgenowskich cząstek wyselekcjonowanych do analizy. Było to zgodne z wnioskami wynikającymi z dotychczas przeprowadzonych przeze mnie badań m.in., aby w kolejnych badaniach wziąć pod uwagę składniki chemiczne wszystkich części naboju mających styczność z reagującymi środkami wybuchowymi w celu zwiększenia siły dyskryminacji pomiędzy populacjami cząstek pochodzących z różnych typów amunicji [H4]. Klasyfikacja cząstek do odpowiedniej amunicji (jednej z 15 klas) została dokonana metodą regularyzowanej analizy dyskryminacyjnej (RDA). Gdy do utworzenia modelu (macierzy uczącej) zostały wybrane widma 3000 cząstek pochodzących z każdej amunicji, a próbkę testową stanowił zbiór po 1000 widm cząstek z każdej amunicji, ryzyko nieprawidłowego przyporządkowania cząstki do danej amunicji zostało ocenione jako niższe niż ok. 10% w przypadku modelu obejmującego 15 klas wszystkich zbadanych amunicji oraz ok. 2% w przypadku modelu dla 7 klas amunicji bezołowiowej [H5]. Porównywalne wyniki analityczne otrzymano dla obu jednostek broni i pięciu zastosowanych zestawów aparatury, co potwierdziło moje poprzednie obserwacje, że czynniki inne niż skład chemiczny naboju mają znikomy wpływ na skład pierwiastkowy ujawnianych cząstek powystrzałowych.

Podsumowując wyniki badań nad rozróżnianiem pozostałości powystrzałowych pochodzących z odmiennych rodzajów amunicji stwierdzam, że pokazały one dobitnie bezpośrednią zależność składu pierwiastkowego cząstek powystrzałowych od rodzaju amunicji, a w szczególności od składu chemicznego masy spłonki [H1 – H5]. Dokonane w tym zakresie badania stały się również okazją do przeprowadzenia systematycznego

przeglądu typowych mieszanin spłonek stosowanych współcześnie przez producentów amunicji. W przypadku amunicji o składzie chemicznym spłonki odmiennym od składu tradycyjnego, prowadzącego się do związków ołowiu, antymonu i baru, ogólnie uznany formalny schemat klasyfikacji zawodzi zaniżając wartość dowodową cząstek powystrzałowych i, co za tym idzie, nie powinien być stosowany bezkrytycznie. Pozytywnym wynikiem tych badań było wykazanie możliwości grupowego typowania amunicji jedynie na podstawie chemicznych badań jej pozostałości. Tym samym wykazałam, że utrzymywany jeszcze w 1997 roku przez Menga i Caddy'ego stereotyp o braku zależności pomiędzy składem chemicznym cząstek metalicznych i rodzajem amunicji jest niesłuszny.

Studium porównawcze składu chemicznego i morfologii cząstek rozproszonych oraz cząstek pozostających w łusce naboju

Przeprowadziłam badania porównawcze składu chemicznego oraz cech morfologicznych pozostałości powystrzałowych pobranych z rąk osoby strzelającej oraz z wnętrza łuski jednego i tego samego naboju dla czterech rodzajów amunicji Luger 9 mm z trzema różnymi spłonkami [H6]. Do wybranych typów amunicji należały: Luger 9 mm produkcji polskiej (Zakłady Metalowe Mesko w Skarżysku-Kamiennie; o spłonce zawierającej piorunian rtęci jako inicjator, chloran potasu jako utleniacz i siarczek antymonu w charakterze reduktora), czeskiej fabryki Sellier & Bellot (S&B – o spłonce złożonej z trinitrorezorcynianu lub azydku ołowiu jako inicjatora, azotanu baru - utleniacza i krzemku wapnia w roli reduktora) oraz niemieckiej amunicji bezołowiowej typu *sintox* marki Dynamit Nobel (DN – zawierającej tetrazen, diazadinitrofenol, sproszkowany tytan i nadtlenek cynku). Ostatnia z wymienionych amunicji użyta była w dwóch wariantach różniących się płaszczem pocisku: miedzianym lub cynowym.

Wbrew obiegowej opinii ustaliłam, iż mogą występować istotne różnice w jakościowym i ilościowym składzie chemicznym między pozostałościami osadzającymi się na rękach i tymi, które pozostają we wnętrzu łusek. O ile w przypadku użycia amunicji S&B oraz DN z miedzianym płaszczem pocisku obserwuje się ten sam jakościowy skład pierwiastkowy cząstek osiadających m.in. na dłoniach osoby strzelającej i tych pozostających we wnętrzu łuski, to w przypadku amunicji Mesko oraz DN z cynowym płaszczem pocisku

mogą wystąpić różnice w jakościowym i ilościowym składzie pierwiastkowym cząstek powystrzałowych pobranych z dłoni osoby strzelającej w stosunku do tych, które pozostają we wnętrzu łuski. W łusce pozostają drobiny, których skład pierwiastkowy jest zgodny ze składem pierwiastkowym masy spłonki. Natomiast skład pierwiastkowy drobin opuszczających lufę może być wzbogacony o pierwiastki pochodzące z rdzenia pocisku (np. ołów w przypadku amunicji Mesko) lub jego płaszcz (np. cyna w przypadku amunicji DN). Różnią się także cechy morfologiczne porównywanych pozostałości. Gdy proces formowania się cząstek metalicznych kończy się w powietrzu zachowują one kulisty kształt, gdy jednak krople metalu nie zdążą skrzepnąć przed zderzeniem z twardą i znacznie chłodniejszą powierzchnią wewnętrznych ścianek łuski wykazują one bardziej złożone, spłaszczone kształty i na ogół znacznie większe rozmiary. Nieuwzględnienie możliwych różnic w składzie cząstek pobranych z tych dwóch podłoży może doprowadzić do fałszywego rozróżnienia tych próbek i niesłusznej eliminacji udziału podejrzanego w zdarzeniu z użyciem broni palnej.

Przeprowadzone badania pozwoliły mi także na wyciągnięcie ogólniejszych wniosków, z których najistotniejszym jest to, że proces propagacji oraz formowania się pozostałości powystrzałowych w łusce i w przewodzie lufy ma przebieg jednokierunkowy. Powoduje to, że do uformowanych cząstek metalicznych pochodzących ze spłonki mogą, ale nie muszą, dołączyć drobiny łuski, rdzenia i płaszcz pocisku, a także wewnętrznych ścianek lufy broni oraz znajdujących się tam zanieczyszczeń i wspólnie rozprzestrzenić się wraz z chmurą gazów prochowych w otoczeniu użytej broni palnej. To, czy materiały – głównie metale – budujące poszczególne części naboju oraz wewnątrz lufy broni ulegną oddziaływaniu produktów wybuchowych reakcji spłonki oraz prochu, zależy od ich właściwości fizykochemicznych. Słuszność tego wnioskowania potwierdziłam w kolejnym etapie badań dotyczących dyspersji cząstek metalicznych w otoczeniu osoby strzelającej.

Dyspersja cząstek metalicznych w otoczeniu broni

Wobec braku danych literaturowych na temat wpływu odległości od broni i rodzaju podłoża, z których zwykle pobierany jest materiał dowodowy na liczbę, skład chemiczny i cechy morfologiczne ujawnianych cząstek powystrzałowych przeprowadziłam systematyczne badania próbek cząstek metalicznych, uzyskanych na drodze eksperymentalnej

z użyciem z dwóch rodzajów amunicji pełnopłaszczowej, produkowanej przez polską fabrykę Mesko: Makarow 9 mm i Luger 9 mm, obydwu ze spłonką zawierającą piorunian rtęci jako inicjator, chloran potasu jako utleniacz i siarczek antymonu w charakterze reduktora [H7, H8]. Próbkę cząstek pobierane były z tarcz umieszczonych w odległości 10, 20, 30, 50, 70 i 100 cm, a więc z podłoży usytuowanych przed wylotem lufy broni, jak również z osoby strzelającej, tj. z jej dłoni i odzieży na wysokości przedramienia, górnej części przodów oraz górnej części pleców, które u osoby strzelającej z wyprostowanymi ramionami (mężczyzna o wzroście 185 cm) plasują się, odpowiednio, w odległości ok. 10, 30, 70 i 90 cm, za wylotem lufy. Podczas eksperymentów osoby strzelające nosiły odzież wykonaną z tkaniny bawełnianej, a odpowiednie serie tarcz pokryte były fragmentami tkaniny bawełnianej lub skóry bydlęcej symulującymi popularne typy odzieży. Eksperymenty zostały przeprowadzone tak, aby uzyskać po trzy próbki dla każdego wybranego punktu w kierunku strzału i w kierunku przeciwnym, co miało na celu dokonanie oceny powtarzalności parametrów opisujących ujawnione cząstki metaliczne, głównie ich liczbę, skład chemiczny i cechy morfologiczne, m.in. w postaci efektywnej średnicy.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wymienionych parametrów i analizy ich wartości w funkcji odległości od broni wykazałam, iż rozkład cząstek na osobie strzelającej i w najbliższym jej otoczeniu jest zmienny, nie tylko pod względem liczebności cząstek, jak należało oczekiwać, lecz także pod względem składu chemicznego oraz ich rozmiarów.

O ile w kierunku strzału zaobserwowałam względny spadek częstości występowania drobin zawierających ołów wraz ze wzrostem odległości od lufy, to na osobie strzelającej, czyli w kierunku przeciwnym do kierunku strzału, zaznaczył się względny wzrost częstości występowania cząstek ołowiowych wraz ze wzrostem odległości od wylotu lufy. Częstość występowania cząstek antymonowych wykazała tendencję odwrotną, tj. względny wzrost w kierunku strzału i względny spadek w kierunku przeciwnym. Prawidłowość ta wystąpiła dla próbek drobin pochodzących z obydwu badanych rodzajów amunicji [H7, H8]. Jak ustaliłam na podstawie badań opisanych w poprzednim rozdziale [H6], ołów wykrywany w drobinach metalicznych pochodził z rdzenia pocisku.

Badania średnich wartości efektywnej średnicy cząstek metalicznych dla próbek pobranych z tarcz oraz z dłoni i odzieży osoby strzelającej wykazały ich tendencję wzrostową wraz ze wzrostem odległości od wylotu lufy (np. w przypadku cząstek pochodzących z amunicji Luger 9 mm dla odległości od lufy $s = 10$ cm średnia wartość efektywnej średnicy

wyniosła ok. 1,2 mikrometra, a dla odległości $s = 100$ cm ok. 2,4 mikrometra. Ponadto wartości efektywnej średnicy cząstek obecnych na dłoniach osoby strzelającej były dla obu rodzajów badanej amunicji znacząco większe niż dla próbek pobranych z tarczy w odległości 10 cm od lufy (np. dla cząstek pochodzących z amunicji Luger 9mm pobranych z dłoni osoby strzelającej tj. dla $s = -10$ cm średnia wartość efektywnej średnicy wyniosła ok. 1,8 mikrometra, a dla tarczy $s = 10$ cm ok. 1,2 mikrometra) [H7, H8].

Wykazałam również, że liczba cząstek osadzających się na danym podłożu zależy nie tylko od odległości od broni i właściwości fizyko-chemicznych cząstek, lecz także od rodzaju materiału podłoża [H8]. Na ogół więcej cząstek osadza się i zatrzymuje na tkaninie bawełnianej niż na skórze bydlęcej, z której wykonuje się popularne kurtki skórzane. Wnioskować należy, iż obserwowana prawidłowość jest uzależniona od różnic sił adhezji działających pomiędzy cząstkami metalicznymi i materiałami wymienionych podłoży. Tkanina bawełniana ma luźniejszą od skóry budowę, lecz jednocześnie znacznie bardziej rozwiniętą powierzchnię. Wystające pomiędzy nićmi oraz na powierzchni tkaniny pojedyncze włókna mogą sprawić, iż kulista cząstka metaliczna ma więcej niż jeden punkt styczności z podłożem. Skóra bydlęca ma, natomiast, bardziej zwartą budowę i gładszą powierzchnię pomimo występujących niej bruzd.

Ponadto zaobserwowałam, iż relatywnie mniej cząstek ołowiovych osadza się na skórze bydlęcej, niż na tkaninie bawełnianej [H8]. Nie można wykluczyć, że na ten stan wpływa fakt, iż ołów charakteryzuje się znacznie – prawie dwukrotnie – większą gęstością (11340 kg/m^3) niż antymon (6697 kg/m^3). Zatem spośród kulistych cząstek złożonych z ołowiu lub z antymonu, o tej samej średnicy i zbliżonej prędkości początkowej, cząstki ołowiowe mają znacznie większą masę i energię kinetyczną niż cząstki antymonu, która może przewyższać zakres wartości energii pozwalającej na wychwycenie i zatrzymanie cząstki na tarczy pokrytej skórą bydlęcą. Część cząstek ołowiovych, tych o największej energii kinetycznej, może się odbić od powierzchni skóry.

Stwierdzenie obecności znaczącej, ogólnej liczby cząstek metalicznych pochodzących ze spłonki na tarczach położonych w odległości ok. 50 – 100 cm od wylotu lufy, tj. wówczas, gdy nie obserwuje się już osmalenia i drobin niespalonego prochu strzelniczego wokół przestrzeliny, pozwoliło na wyróżnienie tego zakresu jako dodatkowej kategorii szacowania odległości strzału na podstawie fizykochemicznych badań rozkładu pozostałości powystrzałowych na przestrzelinach [H8].

Analizując uzyskane informacje wywnioskowałam, iż proces formowania się cząstek metalicznych rozpoczyna się w trakcie detonacji masy spłonki i postępuje na dalszych etapach wystrzału. Wraz z gazami prochowymi, które powstają w wyniku deflagracji ładunku prochowego warstwa po warstwie, krople metalu przesuwają się wzdłuż ścianek łuski. Te z nich, które docierają wraz z czołem fali uderzeniowej do podstawy pocisku z odsłoniętym rdzeniem ołowiowym mogą zostać wzbogacone o domieszkę tego pierwiastka. Zanim pocisk zostanie wysunięty z łuski pod wpływem narastającego ciśnienia gazów prochowych, dochodzi także do lokalnego stopienia powierzchniowej warstwy podstawy rdzenia, utworzenia kropli i drobin stałych ołowiu, które są spychane przez środkowy – najszybszy – strumień gazów na boki, tj. ku brzegom pocisku, a więc także ku wewnętrznym ściankom lufy. W momencie, gdy pocisk opuszcza lufę, rozprężające się w każdym kierunku gazy rozpylają szybko krzepnące krople metalu, głównie ołowiu, co sprawia, że relatywnie najwięcej drobin zawierających ołów przenosi się na niewielkie odległości w kierunku strzału (10 – 20 cm), jak również w kierunku przeciwnym, tj. na odzież osoby strzelającej (w okolicach ramion i górnej części tułowia) [H6 – H8], a także jej twarz [H9].

Biorąc pod uwagę fakt, iż pośród cząstek metalicznych nie obserwuje się kulistych drobin miedzi, która wchodzi w skład łuski oraz płaszcz pocisku, lecz drobiny ołowianego rdzenia pocisku, z którym na niewielkiej powierzchni odsłoniętej podstawy i przez krótki czas oddziałują produkty przemiany spłonki i prochu, należy wnioskować, że ewentualne rozpylanie materiałów łuski, płaszcz pocisku jest uzależnione od właściwości fizykochemicznych budujących je metali i stopów, takich jak temperatura topnienia i pojemność cieplna. Temperatura topnienia ołowiu wynosi 328 °C, a miedzi 1085 °C, a ciepło właściwe (w temp. 25 °C) dla ołowiu i miedzi wynosi odpowiednio: 129 oraz 385 J/(kg K), co tłumaczyłoby większą podatność ołowiu do lokalnego topienia i odrywania się od odsłoniętej powierzchni rdzenia pocisku niż miedzi z wewnętrznych ścianek łuski lub brzegów płaszcz pocisku.

Odmienny skład pierwiastkowy i różnice cech morfologicznych cząstek rozprzestrzeniających się w kierunku strzału i w kierunku przeciwnym pozwala mieć nadzieję na bardziej szczegółowe wnioskowanie o wzajemnej pozycji osób biorących udział w zdarzeniu z bronią palną. Jest to mój oryginalny wkład do wykorzystania informacji o dyspersji cząstek powystrzałowych, gdyż do tej pory eksperci przyjmowali, iż pozostałości

powystrzałowe, które w przypadku bliskiego kontaktu osób mogą osiąść zarówno na osobie strzelającej, jak i pokrzywdzonej, nie wnoszą informacji na temat ich roli w zdarzeniu.

Dyspersja cząstek metalicznych w czasie po użyciu broni palnej

Według opublikowanych danych literaturowych, po raz pierwszy wykonałam kompleksowe badania kinetyki utraty pozostałości powystrzałowych dla próbek pobranych jednocześnie z rąk, twarzy i włosów oraz odzieży osób strzelających poprzez oszacowanie czasu połowicznej ich ubytku z badanych powierzchni oraz określenie wpływu na ten proces składu chemicznego i cech morfologicznych cząstek [H9]. Badania przeprowadziłam z użyciem amunicji Luger 9 mm produkcji czeskiej fabryki Sellier and Bellot, o spłonce złożonej z trinitrorezorcynianu lub azydku ołowiu jako inicjatora, azotanu baru – jako utleniacza oraz siarczku antymonu w roli reduktora. Amunicja ta zapewniała obecność cząstek trójskładnikowych Pb-Sb-Ba w materiale badawczym. W eksperymencie wzięło udział 5 osób, a strzały testowe wykonano w dziewięciu podejściach tak, aby otrzymać dane w zakresie od 0 do 4 godzin, w interwałach półgodzinnych. Dla danych będących średnią arytmetyczną liczby cząstek wykrytych w pięciu próbkach (dla 5 probantów) wykonałam obliczenia okresu połowicznej utraty drobin dla każdego z trzech podłoży, z których pobierałam próby mikrośladów: (i) dłoni, (ii) twarzy i włosów oraz (iii) odzieży. Okres połowicznego ubytku cząstek trójskładnikowych Pb-Sb-Ba wyniósł ok. 30 minut dla dłoni, ok. 60 minut dla odzieży oraz ok. 140 minut dla próbki pobranej z twarzy i włosów osoby strzelającej. Okres połowicznego ubytku wszystkich ujawnionych cząstek wyniósł ok. 50 minut dla dłoni, ok. 60 minut dla odzieży oraz ok. 170 minut dla próbki pobranej z twarzy i włosów osoby strzelającej.

Ponadto przeanalizowałam częstości występowania cząstek poszczególnych klas chemicznych, będących kombinacjami ołowiu, antymonu i baru, w funkcji czasu i ustaliłam, że skład chemiczny cząstek nie wykazał istotnej zależności od czasu pobierania próbki po oddaniu strzału. Natomiast dla próbek mikrośladów pobranych po upływie dłuższych odcinków czasu po oddaniu strzału zaobserwowałam rosnący udział cząstek o średnicy większej od 1 mikrometra w populacji ujawnionych drobin oraz ich nieregularną morfologię, znacznie odbiegającą od kulistej [H9].

Z przeprowadzonych badań można bezpośrednio wywnioskować, iż cząstki metaliczne wykazują znacznie dłuższy okres półtrwania na twarzy i włosach oraz odzieży osoby strzelającej niż na jej dłoniach. Jest więc uzasadnione sformułowanie rekomendacji, aby w poczet zabezpieczanego materiału dowodowego w sprawach postrzału włączyć również próbki pobrane z twarzy i włosów podejrzanych oraz ich odzież, w szczególności gdy od momentu zdarzenia do chwili pobierania materiału dowodowego upłynął czas dłuższy niż 4 godziny. W chwili obecnej w kraju rutynowo pobiera się materiał z dłoni osób podejrzewanych oraz odzież z przestrzelinami od osób pokrzywdzonych, co zapewnia wykrywalność drobin powystrzałowych, gdy podejrzany zostaje ujęty bezpośrednio po zdarzeniu. Prawidłowe zabezpieczenie materiału dowodowego w późniejszym okresie wymaga więc pobrania do badań odzieży.

Ocena ryzyka fałszywej identyfikacji cząstek powystrzałowych

Opisane w poprzednim rozdziale rezultaty badań nad kinetyką ubytku cząstek powystrzałowych przekonują, że są one ściśle związane z miejscem i czasem użycia broni palnej. Jednakże powiązanie osoby z użyciem broni palnej wymaga nie tylko podania liczby i składu chemicznego cząstek ujawnionych w materiale dowodowym pobranym od tej osoby, lecz także dokonania oceny ich wartości dowodowej. Wśród czynników warunkujących prawidłową ocenę wartości dowodowej ujawnionych drobin powystrzałowych, należy wymienić ryzyko przypadkowej kontaminacji próbek dowodowych cząstkami powystrzałowymi niezwiązanymi z analizowanym zdarzeniem oraz niebezpieczeństwo uznania za pozostałości powystrzałowe cząstek metalicznych pochodzących z innych, środowiskowych źródeł.

W związku z brakiem wyczerpujących informacji na te tematy w literaturze fachowej, a w szczególności brakiem danych o poziomie kontaminacji tymi cząstkami populacji generalnej i specyficznych środowisk zawodowych w Polsce, przeprowadziłam własne badania skryningowe i analizy uzyskanych informacji [H 10].

Określiłam poziom kontaminacji cząstkami powystrzałowymi różnych środowisk zawodowych w kraju na podstawie badań na ponad stuosobowej grupie ochotników. W próbkach pobranych z dłoni 75-osobowej grupy osób niemających kontaktu z bronią palną cząstki powystrzałowe nie występowały, natomiast w 45-osobowej grupie osób

posługujących się bronią palną wykazałam u 19 osób obecność od 1 do 27 cząstek Pb-Sb-Ba. Jednak po zastosowaniu kryterium obniżonego ryzyka kontaminacji tymi cząstkami, tj. pobraniu próbek po upływie co najmniej 5 godzin od ostatniego strzału 15 na 16 funkcjonariuszy policji (94%) i 8 na 10 myśliwych (80%) było wolnych od zanieczyszczenia cząstkami Pb-Sb-Ba. Wyniki tych badań upoważniły mnie do sformułowania rekomendacji, aby technik kryminalistyki pobierający dowodowe próbki mikrośladów od osób podejrzewanych w sprawie postrzału nie posługiwał się wcześniej bronią, ewentualnie pobierał na wstępie próbkę kontrolną z własnych rąk – *procedura zapobiegania kontaminacji materiału dowodowego podczas jego pobierania*.

Oceeniłam również potencjalne zagrożenie kontaminacją charakterystycznymi cząstkami powystrzałowymi laboratorium, w którym znajduje się system analityczny SEM-EDX służący do badań cząstek powystrzałowych. Analizując 30 próbek mikrośladów pobieranych w laboratorium w różnych odstępach czasu przez okres 5 lat, nie ujawniłam cząstek o składzie chemicznym i morfologii wskazującej na pozostałości powystrzałowe. Potwierdziło to słuszność przyjętych uprzednio zasad postępowania z materiałem dowodowym i opracowanych przeze mnie procedur zapobiegających kontaminacji laboratorium.

Z uwagi na brak danych dotyczących możliwości rozróżniania cząstek powstających podczas procesów spawania konstrukcji metalowych od cząstek powystrzałowych, szczególnie pochodzących z amunicji bezołowiowych, przeprowadziłam własne badania mające na celu ocenę ryzyka wzięcia takich cząstek za powystrzałowe. Przedmiotem badań były zarówno cząstki metaliczne pochodzące ze spawania elementów stalowych oraz aluminiowych, jak i niezmienione otuliny 11 elektrod 10 różnych typów, m.in. rutyłowe, rutyłowo-celulozowe, stopowe i zasadowe. Próbkami materiałów zostały poddane analizie metodą SEM-EDX. W próbkach drobin pochodzących ze spawania zarówno elementów stalowych, jak i aluminiowych obecne były cząstki pochodzące ze spawanych metali (Fe, Al), z otulin elektrod (Ti, Si i in.), jak również znaczące liczby kulistych cząstek zawierających na powierzchni częściowo skryształizowany tlenek żelaza (Fe_2O_3). Średnice tych cząstek zawierały się w przedziale od 10 do ok. 100 mikrometrów, podczas gdy znaczna większość cząstek powystrzałowych ma rozmiary rzędu 1 mikrometra. Cząstki te traktowane nie pojedynczo, lecz jako grupa wykazują odmienny skład chemiczny i odmienne cechy morfologiczne od cząstek powystrzałowych. Zatem liczne populacje cząstek pochodzących ze

spawania nie stanowią zagrożenia fałszywie pozytywnej ich identyfikacji jako cząstek powystrzałowych. Jednakże w przypadku wykrycia pojedynczych cząstek glinowych lub tytanowych nie ma możliwości odróżnienia ich od cząstek powystrzałowych pochodzących z amunicji, w których użyto sproszkowanego glinu lub tytanu w roli paliwa w mieszaninie spłonki [H10].

Z przeprowadzonych badań wynika, że im większa liczba ujawnionych drobin, tym cenniejszy dowód uczestnictwa danej osoby w zdarzeniu z użyciem broni palnej. Zatem rekomendacja dotycząca pobierania do badań odzieży osoby podejrzanej wydaje się więc słuszna nie tylko z powodu wolniejszego ubytku drobin z jej powierzchni wraz z upływem czasu, lecz także dlatego, że im większa liczba sztuk odzieży, tym większe prawdopodobieństwo ujawnienia większej liczby cząstek, a więc uzyskania znaczącego dowodu.

Podsumowując, za moje najważniejsze dokonania naukowo-badawcze uważam:

1. Opracowanie oryginalnej metodyki badawczej metalicznych cząstek powystrzałowych obejmującej:
 - procedurę wykrywania oraz identyfikacji cząstek metalicznych pochodzących z amunicji do broni palnej techniką elektronowej mikroskopii skaningowej sprzężonej ze spektrometrią promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDX), z uwzględnieniem składu chemicznego oraz morfologii, na podstawie optymalizacji takich parametrów, jak rozdzielczość (wykrywanie cząstek o rozmiarach poniżej 1 mikrometra), napięcie i natężenie wiązki elektronowej (wartości wymagane do uzyskania emisji elektronów wstecznie rozproszonych oraz do przeprowadzenia ilościowej analizy pierwiastkowej), stabilnością wiązki elektronowej [H1 – H10];
 - określenie precyzji i powtarzalności pomiaru według opracowanej procedury analitycznej [H1, H2];
 - wykazanie przydatności reprezentacji wyników analitycznych w formie częstości występowania drobin o danej klasie chemicznej (bądź drobin o danej efektywnej średnicy) w całej populacji cząstek wykrytych w danej próbce w celu umożliwienia ilościowego ujęcia składu chemicznego (bądź liczebności w poszczególnych zakresach średnic cząstek) [H2, H7 – H9].

2. Odkrycie występowania istotnych różnic w składzie chemicznym cząstek powystrzałowych pochodzących z różnego rodzaju amunicji oraz ustalenie zależności składu chemicznego cząstek w pierwszym rzędzie od receptury masy spłonki [H1 – H5].
3. Wykazanie na podstawie badań chemicznych i morfologicznych występowania zarówno podobieństwa, jak i możliwych różnic pomiędzy cząstkami powystrzałowymi pochodzącymi z tej samej sztuki amunicji, pobranymi z dłoni osoby strzelającej w stosunku do tych pobranych z wnętrza łuski, jak również ustalenie, że na ten proces mają wpływ właściwości fizyko-chemiczne składników nie tylko spłonki, lecz także innych części naboju [H6].
4. Ustalenie zależności między liczbą, składem chemicznym i cechami morfologicznymi cząstek a odległością od wylotu lufy broni, z której oddano strzał oraz rodzajem podłoża, na którym osiadły te cząstki [H6 - H8].
5. Wyjaśnienie niektórych aspektów formowania się i dyspersji metalicznych cząstek powystrzałowych w otoczeniu broni. Stwierdzenie, iż pozostałości powystrzałowe powstające w kolejnych etapach reakcji wybuchowych masy spłonki i prochu strzelniczego przemieszczają się we wnętrzu łuski naboju i lufy broni tylko w jednym kierunku – ku wylotowi lufy, a więc nie cofają się i nie mieszają ze sobą. Skutkiem tego procesu jest obserwowana zgodność składu pierwiastkowego drobin pozostających we wnętrzu łuski ze składem chemicznym masy spłonki, ale możliwa nawet znaczna różnica w jakościowym i ilościowym składzie chemicznym cząstek rozproszonych wokół broni (np. pobranych z rąk osoby strzelającej) w stosunku do składu pierwiastkowego spłonki z uwagi na oddziaływanie produktów reakcji wybuchowych spłonki i prochu na materiały, z których wykonano inne części naboju (łuskę, płaszcz i rdzeń pocisku) oraz wewnętrzne ścianki lufy broni [H6 – H8].
6. Ustalenie kinetyki utrzymywania się pozostałości powystrzałowych jednocześnie na dłoniach, twarzy i włosach oraz odzieży osób strzelających poprzez oszacowanie czasu połowicznego ich ubytku oraz określenie wpływu na ten proces składu chemicznego i cech morfologicznych cząstek [H9].
7. Dokonanie oceny ryzyka nieprawidłowej interpretacji wyników analizy chemicznej cząstek powystrzałowych poprzez ustalenie poziomu kontaminacji tymi cząstkami populacji generalnej i specyficznych środowisk zawodowych w kraju oraz poprzez oszacowanie niebezpieczeństwa wzięcia za powystrzałowe cząstek metalicznych z innych,

środowiskowych źródeł, na przykładzie cząstek pochodzących z procesu spawania metali [H10].

Znaczenie aplikacyjne rezultatów badań

Moja działalność naukowo-badawcza w zakresie chemii sądowej, a w szczególności w zakresie chemicznych badań pozostałości po wystrzale z broni palnej, zapoczątkowała nowy, światowy trend w badaniach dotyczących rozróżniania cząstek metalicznych w zależności od ich źródła, tj. rodzaju amunicji. Kierunek ten obecnie cieszy się rosnącym zainteresowaniem, o czym świadczą realizowane przeze mnie projekty badawcze tak krajowe, jak i międzynarodowe, aktualne propozycje współpracy naukowej w tej dziedzinie (m.in. ze strony University of Surrey, Guildford, UK), a także pojawiające się coraz częściej w czasopismach o cyrkulacji międzynarodowej publikacje z tego tematu innych autorów, np. z Australii i Brazylii.

Wyniki przeprowadzonych i opublikowanych przeze mnie badań nad trwałością śladu w postaci cząstek powystrzałowych również znacząco przyczyniły się do postępu w tej dziedzinie, gdyż poczynione ustalenia na temat kinetyki utraty cząstek z różnych podłoży stanowią jeden z podstawowych czynników warunkujących prawidłową interpretację wyników ekspertyzy dla celów sądowych. Stanowią one również miłowy krok do harmonizacji badań i oceny wartości dowodowej uzyskanych wyników w laboratoriach europejskich.

Zupełnie bezprecedensowe okazały się rezultaty badań dotyczące zależności składu chemicznego i cech morfologicznych cząstek powystrzałowych od odległości i położenia względem broni. Uzyskane informacje mają potencjalne znaczenie przy ustalaniu położenia osób na miejscu zdarzenia z bronią palną i mogą zapoczątkować nowy trend w badaniach śladów powystrzałowych.

Wyniki przeprowadzonych przeze mnie chemicznych badań drobin powystrzałowych zostały opublikowane w czasopismach o obiegu międzynarodowym z zakresu chemii sądowej i chemii analitycznej oraz bezpośrednio wykorzystane w praktyce szerokiego kręgu ekspertów badających pozostałości powystrzałowe dla celów sądowych. Niektóre spośród moich publikacji cytowane były przez nich podczas rozpraw sądowych w kraju [H1] i np. w USA [H6]. O praktycznym znaczeniu moich publikacji w tym zakresie świadczy również

fakt, iż otrzymuję prośby zagranicznych ekspertów o konsultacje dotyczące konkretnych problemów badawczych w związku z wykonywanymi przez nich opiniami na potrzeby tamtejszych organów wymiaru sprawiedliwości, np.:

- dr Sean Doyle, Forensic Explosives Laboratory, Defence Science and Technology Laboratory, Fort Halstead, Kent, UK – czy istnieje możliwość chemicznego rozróżnienia drobin pierwotnie przeniesionych na odzież od drobin przeniesionych wtórnie z powierzchni broni,
- dr Fatima Machado, Laboratory of Scientific Police, Lisbon, Portugal – z jakiej części amunicji może pochodzić domieszka cyny obecna w pozostałościach powystrzałowych.

Rozpoczynając w 1995 roku badania nieorganicznych pozostałości powystrzałowych celem ustalenia okoliczności zdarzenia z użyciem broni palnej, przyczyniłam się do tego, iż Instytut Ekspertyz Sądowych, jako pierwsza spośród placówek opiniujących dla potrzeb sądowych w kraju, będąc przy tym instytucją cywilną, sprostał potrzebie wydawania niezależnych opinii w zakresie fizykochemicznych badań pozostałości powystrzałowych.

Za najważniejsze moje osiągnięcia naukowe wspierające działalność opiniodawczą uważam:

1. Umożliwienie opiniowania w zakresie wykrywania metalicznych cząstek powystrzałowych celem powiązania osoby podejrzanej z faktem użycia broni palnej, przy uwzględnieniu składu chemicznego, liczebności i morfologii wykrytych cząstek w poszczególnych materiałach dowodowych (pobranych z dłoni i odzieży) oraz interpretacji uzyskanych wyników w pierwszym rzędzie na podstawie okoliczności zdarzenia, z uwzględnieniem ryzyka kontaminacji, a dopiero w drugiej kolejności z zastosowaniem formalnego schematu klasyfikacji, co w efekcie podnosi *jakość opinii*.
2. Sformułowanie rekomendacji dotyczących sposobu zabezpieczenia i rodzaju materiałów dowodowych w sprawie postrzału celem powiązania osoby z faktem użycia broni palnej (próbki z dłoni, odzieży i wnętrza łuski nabojoyowej), poparte wynikami przeprowadzonych badań nt. czasu utrzymywania się cząstek na dłoniach, twarzy i odzieży, jak również badań dotyczących różnorodności składu chemicznego drobin powystrzałowych w zależności od rodzaju amunicji – *zapewnienie wszechstronności badań i wzrost przydatności opinii w wyjaśnieniu danego zdarzenia*.
3. Opracowanie zasad postępowania z dowodami rzeczowymi w sprawach postrzałów i wskazanie środków ostrożności celem zapobiegnięcia kontaminacji laboratorium

pozostałościami powystrzałowymi – *procedura zapobiegania kontaminacji materiału dowodowego podczas badań w laboratorium.*

4. Opracowanie sposobu szacowania odległości strzału na podstawie fizykochemicznych badań rozkładu pozostałości powystrzałowych na przestrzelinach – *poszerzenie możliwości opiniowania na temat odległości strzału o zakres ok. 50 – 100 cm, w stosunku do dotychczas funkcjonujących trzech zakresów: tzw. przyłożenia lub bezpośredniego pobliża (0 – ok. 1 cm), pobliża (ok. 1 – 50 cm) oraz z dalszej odległości,*
5. Opracowanie metod typowania amunicji użytej w zdarzeniu:
 - gdy dostępna jest łuska nabojoowa – fizykochemiczne badania dyskryminacyjne drobin pobranych z jej wnętrza i z innych dowodów rzeczowych – *interpretacja wyników badań z uwzględnieniem zarówno podobieństw, jak i możliwych różnic w składzie chemicznym i morfologii tych materiałów;*
 - gdy brak jest łuski – klasyfikacja grupowa rodzaju spłonki jedynie na podstawie badań chemicznych cząstek metalicznych – *nowa, pionierska oferta opinii.*
6. Wykorzystanie faktu zmienności w składzie chemicznym cząstek w zależności od odległości od broni zarówno w kierunku strzału, jak i w kierunku przeciwnym celem ustalenia pozycji osób na miejscu zdarzenia względem broni i kierunku strzału – *pierwsza w świecie oferta tego rodzaju ekspertyzy.*

Wypełnienie każdego z opracowanych aspektów chemicznej analizy cząstek metalicznych może stanowić istotny wkład do rekonstrukcji zdarzenia z użyciem broni palnej. Choć z reguły badania fizyko-chemiczne postrzegane są jako komplementarne do informacji zawartych w aktach sprawy, to w niektórych przypadkach mają one decydujące znaczenie w ustalaniu okoliczności zdarzenia.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5. a Przebieg pracy naukowej

Badania naukowe prowadzone do momentu uzyskania stopnia naukowego doktora

Moje zainteresowanie chemią jako nauką sięga czasów szkolnych. Chemia zaważyła wówczas o moim wyborze kierunku kształcenia w IV Liceum Ogólnokształcącym w Tarnowie w klasie o profilu biologiczno-chemicznym, a następnie na Wydziale Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Podczas studiów zainteresowanie to rozwinęło się w pasję naukowo-badawczą w zakresie rentgenowskich badań strukturalnych substancji krystalicznych o interesujących właściwościach chemicznych i fizycznych, a także poszukiwania korelacji pomiędzy składem chemicznym, strukturą i badanymi własnościami fizycznymi kryształów.

Pasję tę mogłam rozwijać podejmując studia doktoranckie w Zakładzie Krystalochemii i Krystalofizyki Wydziału Chemii UJ, gdzie w latach 1989 - 1994 pod kierunkiem prof. dr. hab. Stanisława Hodorowicza oraz w ścisłej współpracy z dr Katarzyną Stadnicką prowadziłam badania struktury i skręcalności właściwej jednoosiowych kryształów (+)-winianu rubidu (RBT) i (+)-winianu cezu (CST) oraz dwuosiowych kryształów czterowodnego (+)-winianu sodowo-amonowego (NAT). Pełna analiza strukturalna kryształów NAT w temperaturach 200, 151 i 120 K oraz ustalenie struktury metodą Rietvelda z danych proszkowych w temperaturze 120 i 100 K wykazały istotną zmianę geometrii niektórych wiązań wodorowych oraz wydłużenie elipsoid drgań termicznych w kierunku **a**, wskazujące na pojawienie się niewspółmiernej modulacji struktury przed przejściem do fazy ferroelektrycznej w 110 K. Ponadto ustaliłam absolutną strukturę i absolutną chiralność kryształów RBT, CST i NAT oraz wyznaczyłam ich tensory giracji. Wyniki tych prac stanowiły treść mojej pracy doktorskiej, obronionej z wyróżnieniem. Zostały one opublikowane w renomowanych czasopismach z zakresu krystalochemii i fizyki ciała stałego (**Załącznik 3**, publ.1-4), a także były prezentowane na konferencjach krystalograficznych. Po zakończeniu studiów doktoranckich i złożeniu pracy jeszcze przez ponad rok kontynuowałam badania struktury i własności winianów, a ich wyniki również zostały opublikowane (**Załącznik 3**, publ. 5).

Badania naukowe prowadzone po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nieuwzględnione we wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

Moje zainteresowania naukowe oraz doświadczenie w stosowaniu rentgenowskich metod dyfrakcyjnych, zarówno do identyfikacji substancji chemicznych, jak również do badań strukturalnych, zdobyte podczas pracy naukowej na Wydziale Chemii UJ, miałam okazję wykorzystać i poszerzyć, m.in. o metody spektrometrii rentgenowskiej w związku z otwierającą się możliwością podjęcia w 1995 roku pracy badawczej w Instytucie Ekspertyz Sądowych w Krakowie będącym wiodącą w kraju jednostką naukowo-badawczą w zakresie nauk sądowych.

Podejmując pracę w kierowanym przez prof. dr hab. Janinę Ziembę-Palus Zakładzie Kryminalistyki przystąpiłam do wszechstronnych działań zmierzających do opanowania warsztatu badawczego warunkującego zarówno wykonywanie ekspertyz dla celów sądowych, jak i prowadzenie prac naukowych zgodnie z dewizą Instytutu „*Justitia et Scientia*”.

W 1998 roku uzyskałam uprawnienia biegłego w zakresie kryminalistycznych badań fizykochemicznych, a od 1999 jestem zatrudniona na stanowisku adiunkta. W 1998 roku przystąpiłam do europejskiej grupy roboczej ekspertów ds. broni i pozostałości powystrzałowych działającej w ramach Europejskiej Sieci Instytutów Nauk Sądowych (ENFSI – *European Network of Forensic Science Institutes*), a w roku 2004 uczestniczyłam w pracach komitetu założycielskiego grupy ds. środków wybuchowych FINEX (*Forensic International Network of Explosives Investigation*) również działającej w ENFSI, a następnie zostałam członkiem jej zarządu oraz przewodniczącą grupy w latach 2007 - 2010.

Prowadzone przeze mnie prace badawcze dotyczyły wielu różnorodnych materiałów stanowiących cenny ślad kryminalistyczny, zwykle dostępnych w mikroskopijnych ilościach. Ich wykrycie oraz scharakteryzowanie ich cech fizycznych i właściwości chemicznych wymaga zastosowania metod mikroskopowych i mikroanalitycznych, m.in. elektronowej mikroskopii skaningowej sprzężonej ze spektrometrią promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDX), spektrometrii fluorescencji rentgenowskiej (XRF), dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), spektrometrii w podczerwieni (FTIR) oraz metod optyki klasycznej, np. wyznaczania współczynnika załamania światła metodą termoimersyjną (GRIM – *glass refractive index measurement*). Zapoznając się z tymi metodami zasięgnęłam konsultacji w wiodących ośrodkach naukowych w kraju i zagranicą, m.in. w Laboratorium Skaningowej Mikroskopii

Elektronowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie, w Międzywydziałowej Pracowni Mikroskopii Elektronowej Akademii Górniczo - Hutniczej w Krakowie oraz w pracowniach badań pozostałości powystrzałowych niektórych instytucji nauk sądowych w Europie, m.in. w Wielkiej Brytanii, Holandii i Niemczech. W zakresie opracowywania i interpretacji wyników analitycznych współpracuję z Zakładem Chemii Analitycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego nieprzerwanie od 1998 roku do dnia dzisiejszego.

Na podstawie zdobytej wiedzy i własnych doświadczeń badawczych opracowałam samodzielnie bądź kierowałam opracowaniem procedur badawczych materiałów będących przedmiotem ekspertyzy fizykochemicznej, takich jak odłamki szkła i lakierów, drobiny metali, drobiny tonerów do drukarek, niektóre trucizny nieorganiczne, szkielety okrzemek, pozostałości powybuchowe i powystrzałowe, jak również wiele innych materiałów, m.in. stosowanych w sporządzaniu samodziiałowych urządzeń wybuchowych.

W badaniach identyfikacyjnych i dyskryminacyjnych, m.in. drobin tonerów do drukarek i kserokopiarek (**Załącznik 3**, publ. 6, 7), odprysków lakierowych, niektórych trucizn nieorganicznych, szkieletów mikroorganizmów występujących w wodzie – okrzemek, materiałów i substancji chemicznych występujących, m.in. po użyciu produktów pirotechnicznych, samodziiałowych urządzeń wybuchowych (**Załącznik 3**, publ. 22, 27 – 31), jak również broni palnej (**Załącznik 3**, publ. 39) wykorzystałam możliwość badania cech morfologicznych z jednoczesną analizą pierwiastkową metodą SEM-EDX. W niektórych przypadkach konieczne było zastosowanie proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej celem dokonania identyfikacji substancji krystalicznych (**Załącznik 3**, publ. 29, 31).

Analiza obrazu uzyskiwanego w mikroskopie elektronowym dla mikroobektów, takich jak np. przerwane żarniki wolframowe w żarówkach oświetlenia samochodu, czy końcówki włókien uszkodzonej odzieży może stanowić rozstrzygający wkład do ustalenia bezpośredniej przyczyny wypadku lub przebiegu zdarzenia przestępczego, z uwagi na charakterystyczną ich morfologię, zależną od rodzaju działającego czynnika, np. podwyższonej temperatury czy ostrego bądź tępego narzędzia (**Załącznik 3**, publ. 33).

W przypadku drobin szkła o rozmiarach poniżej 1 mm, które stanowią materiał dowodowy zabezpieczony z miejsc włamań, wypadków, czy bójek, wykorzystałam możliwość wykonywania ilościowej analizy pierwiastkowej metodą SEM-EDX. Badania te, przeprowadzone dla drobin pochodzących z przedmiotów szklanych zaliczanych do różnych grup użytkowych pozwoliły na ustalenie występowania istotnych różnic w ich jakościowym

i ilościowym składzie chemicznym. Stwierdziłam zatem przydatność metody SEM-EDX w identyfikacji klasy przedmiotów, z jakiej pochodzi badany odłamek, w przypadku gdy brak jest materiału porównawczego (*klasyfikacja*), jak również w badaniach porównawczych, gdy dostępny badaniom jest materiał odniesienia (*dyskryminacja*) (**Załącznik 3**, publ. 8 – 10, 15 – 17). Istotnym elementem tych badań było ustalenie dla próbek wzorców szkła, iż wyniki analiz przeprowadzonych dla bardzo małych okruchów bezpośrednio umieszczonych na stolikach mikroskopowych są rzetelne i porównywalne z wynikami uzyskanymi dla większych próbek o wygładzonych powierzchniach (**Załącznik 3**, publ. 26). Fakt ten, wbrew obiegowym opiniom, przesądził o przydatności SEM-EDX jako metody dokładnej i precyzyjnej do badań drobin szkła stanowiących materiał dowodowy, bez konieczności prowadzenia czasochłonnych przygotowań próbki do badań i obawy jej utraty. Dzięki temu metodę tę wykorzystałam również podczas oceny tzw. *przeniesienia pierwotnego i wtórnego* odłamków szkła na osoby uczestniczące w tłuczeniu szyby, symulującym włamanie (**Załącznik 3**, publ. 26).

W celu uzyskania niezbędnej informacji o przeniesieniu pierwotnym, wtórnym i ewentualnym zanieczyszczeniu odłamkami szkła odzieży osób niebiorących w ostatnim czasie udziału w zdarzeniach związanych z rozbijaniem przedmiotów szklanych, zaplanowałam i nadzorowałam liczne eksperymenty symulujące włamanie lub akt wandalizmu, w których osoba tłukąca miała za zadanie rozbicie podwójnego lub potrójnego zestawu szyb okiennych; obok niej znajdowały się dwie osoby towarzyszące. W badaniach nad przeniesieniem pierwotnym uwzględniłam wpływ następujących czynników: rodzaju szyb, odległości od okna, rodzaju odzieży, jak również czasu, jaki upłynął od zakończenia eksperymentu do zabezpieczenia odzieży do badań. W wyniku badań odzieży osób nieuczestniczących w ostatnim czasie w zdarzeniach z tłuczeniem przedmiotów szklanych, przeprowadzonych celem ustalenia poziomu *kontaminacji*, stwierdziłam, iż w ok. 80% przypadków odzież ta nie nosiła zanieczyszczeń drobinami szkła. Po zbadaniu odzieży wierzchniej (niezanieczyszczonej odłamkami szkła), nałożonej przez osoby biorące udział w eksperymentach bezpośrednio na odzież, w której tłukły szyby i noszonej przez co najmniej dwie godziny ustaliłam, że w 70% przypadków u osób tłukących i w 30% przypadków u osób towarzyszących doszło do wtórnego przeniesienia mikrośladów szkła. Uzyskane wyniki dostarczyły ważnych informacji dla ekspertyzy fizykochemicznej dotyczącej rekonstrukcji

zdarzenia, w którym doszło do rozbicia przedmiotu szklanego i ustalenia, czy osoby podejrzane miały z nim związek (**Załącznik 3**, publ. 26).

Ponadto w badaniach porównawczych drobin szkła, prowadzonych w uzupełnieniu do badań składu pierwiastkowego metodą SEM-EDX, wykonuje się wyznaczanie współczynnika załamania światła metodą termoimersyjną (GRIM), stanowiącą metodę o dużej sile dyskryminacyjnej. Metoda GRIM, równocześnie z metodą SEM-EDX została pod moim kierownictwem wprowadzona do praktyki opiniodawczej Instytutu (**Załącznik 2 - pkt. 5d** niniejszego autoreferatu - projekt KBN nr. 0T00C00822, 2002-2004).

Uzyskane rezultaty badań wymienionych materiałów znalazły bezpośrednie zastosowanie w ekspertyzie kryminalistycznej, zostały przedstawione na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz opublikowane w czasopismach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowych. Ponadto jeszcze na etapie realizacji badania te stanowiły inspirację do wykonania pod moją opieką jednej pracy doktorskiej oraz 15 prac magisterskich Wydziału Chemii UJ.

W latach 2009 – 2012 realizowałam projekt pt. *Badania trwałości i rozpowszechnienia pozostałości powystrzałowych celem oceny ich wartości dowodowej dla celów sądowych* (wymieniony w niniejszym autoreferacie - **Załącznik 2 pkt. 5d** - projekt MNiSW nr. 0758/B/T00/2009/36, 2009-2012). Władze Wydziału Chemii UJ powierzyły mi kierownictwo tego projektu zatrudniając na stanowisku adiunkta na czas jego realizacji. Badania dotyczyły czynników warunkujących prawidłową ocenę wartości dowodowej ujawnionych drobin powystrzałowych, tj. ryzyka przypadkowej kontaminacji próbek dowodowych oraz niebezpieczeństwa uznania za pozostałości powystrzałowe cząstek metalicznych pochodzących z innych źródeł na przykładzie cząstek pochodzących z procesów spawania konstrukcji stalowych oraz aluminiowych różnymi technikami. Uzyskane w ramach projektu wyniki zostały opublikowane w formie rozdziału w książce o obiegu międzynarodowym (**Załącznik 3**, publ. 41).

Wraz z innymi badaczami pozostałości powystrzałowych poświęcam wiele uwagi zdolności wykrywczej systemu SEM-EDX prowadząc prace badawcze nad stworzeniem i udoskonaleniem sztucznej próbki testowej, spełniającej wymagania norm ISO oraz zasad interpretacji otrzymywanego wyniku w celu osiągnięcia harmonizacji tego typu badań w Unii Europejskiej. W związku z tym biorę udział w projektach dotyczących badań podstawowych oraz z zakresu zapewnienia jakości badań (np. projekty „Fundamentals” oraz „Quality

Assurance and Proficiency Testing – GSR”), wykonywanych przez grupę ekspertów ds. broni i pozostałości powystrzałowych ENFSI (European Network of Forensic Science Institutes). Uczestniczę również w projektach badawczych finansowanych przez Unię Europejską (wymienionych w niniejszym **Załączniku 2 - pkt. 5d** - projekt AGIS: JLS/2006/AGIS/041, 2006-2008 oraz projekt ISEC: JLS/2008/ISEC/112, 2009-2012).

Za pozostałości powystrzałowe w szerokim rozumieniu uważam, m.in. drobiny materiałów, jakie mogą przenieść się na powierzchnię pocisku z ostrzelanej przeszkody. Ślady tego typu były do niedawna niedoceniane z uwagi na powszechnie panujące przeświadczenie, iż przeszczepienie materiałów na pocisk w wyniku jego zetknięcia się z tarczą jest niezmiernie rzadkim zjawiskiem. W 2004 roku przeprowadziłam badania nad możliwością przeniesienia materiału ostrzelanej przeszkody w postaci elementów karoserii samochodowej na pociski w celu powiązania poszczególnych pocisków z odpowiednimi przestrzelinami. Gdy pocisk przechodzi przez przeszkodę, np. przez drzwi samochodowe, to pozostają na nim ślady w postaci drobin szkła, tworzyw sztucznych, lakieru samochodowego i otarć metalicznych. Na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych ustaliłam, iż prawdopodobieństwo ujawnienia drobin powłoki lakierowej w ilości wystarczającej do analizy pierwiastkowej, a także do badań metodą spektrometrii w podczerwieni, rośnie wraz ze zmniejszaniem się kąta natarcia pocisku na powierzchnię. Natomiast szkło z ostrzelanej szyby przenosiło się na pociski we wszystkich badanych przypadkach (10 przestrzelonych szyb) niezależnie od kąta natarcia, a jego ilość była wystarczająca do przeprowadzenia ilościowej analizy pierwiastkowej i porównania z materiałem odniesienia (**Załącznik 3**, publ. 33).

Przeprowadzone badania dowiodły, iż identyfikacja materiału obecnego na powierzchni pocisku może przyczynić się do jego powiązania z konkretną przestrzeliną, a zatem do wyznaczenia trajektorii lotu pocisku. Informacja ta może być wykorzystana do ustalenia pozycji osoby strzelającej na miejscu zdarzenia. Stanowi więc ona ważne ogniwo wiążące ostrzelaną tarczę z pociskiem, pocisk z indywidualnym egzemplarzem broni, a broń z osobą strzelającą.

5. b Autorstwo i współautorstwo publikacji naukowych

Mój dorobek naukowy obejmuje 54 publikacje, w tym jedną monografię, 7 rozdziałów w książkach o obiegu krajowym, 1 rozdział w książce o obiegu międzynarodowym, 32 artykuły w czasopismach naukowych o cyrkulacji międzynarodowej, 3 referaty w materiałach konferencyjnych oraz 10 innych publikacji (sprawozdania z konferencji oraz abstrakty w czasopismach z IF).

21 publikacji ukazało się w czasopismach ujętych w liście filadelfijskiej, o sumarycznym współczynniku oddziaływania *impact factor* 35,643, zgodnym z rokiem opublikowania (49,741 dla IF2011), natomiast 42 publikacje są ujęte w wykazie MNiSW, a łączna liczba punktów wynosi 771.

Sumaryczna liczba cytowań publikacji na podstawie danych z portali Web of Knowledge, Scopus oraz Google Scholar z lutego 2013 roku wynosi 254 (indeks Hirsha wynosi 10), a po odjęciu autocytowań 187 (indeks Hirsha wynosi 9).

Szczegółowy wykaz publikacji naukowych wraz z danymi bibliometrycznymi znajduje się w **Załączniku 3**.

5. c Działalność recenzencka

Recenzowałam prace oryginalne w czasopismach z listy filadelfijskiej:

X-ray Spectrometry (2),

Surface and Intersurface Analysis (1),

Science and Justice (2),

Forensic Science International (6),

Sensors & Actuators, B: Chemical (1),

jak również w innych czasopismach nieujętych w liście filadelfijskiej:

The Open Forensic Science Journal (4),

Problems of Forensic Sciences (3).

Recenzowałam sprawozdanie merytoryczne z grantu Ministerstwa Nauki i Informatyzacji (maj 2004 roku; Nr projektu 4953, nr umowy 148336/C-T00/2001, tytuł projektu: „Standaryzacja procedur badawczych broni palnej, amunicji oraz śladów ich użycia dla potrzeb procesu karnego”).

Recenzowałam wnioski o finansowanie projektu badawczego zgłoszonego w ramach 1 konkursu Programu Badań Stosowanych Narodowego Centrum Badań Rozwoju, NCBiR (maj 2012).

Ponadto recenzowałam prace magisterskie wykonane pod moją opieką na Wydziale Chemii UJ i uczestniczyłam w komisjach egzaminacyjnych podczas ich obrony (**Załącznik 4**, pkt. 1).

5. d Udział w projektach badawczych krajowych i zagranicznych

Od roku 1996 do chwili obecnej z powodzeniem kierowałam ośmioma projektami badawczymi: jednym finansowanym przez MNiSW jednym przez NCBiR i sześcioma realizowanymi w ramach działalności statutowej Instytutu Ekspertyz Sądowych, a jako wykonawca uczestniczyłam w dalszych jedenastu projektach, w tym ośmiu finansowanych przez Unię Europejską.

1. *Opracowanie metodologii rozróżniania mikrookruszków szkła oraz wyznaczania stosunku prawdopodobieństw LR (Likelihood Ratio), przy użyciu metod SEM-EDX i GRIM, dla potrzeb ekspertyzy kryminalistycznej* – projekt badawczy nr. 0T00C00822 Komitetu Badań Naukowych (późniejszego Ministerstwa Nauki i Informatyzacji), 2002-2004 (**kierownictwo**).
2. *Chemometric evaluation of gunshot residue for differentiation among various types of ammunition and from environmental particles* – EU project AGIS: JAI/2003/AGIS/033, 2003 - 2005 (**wykonawstwo**).
3. *Creation and implementation of a data base containing information of gunshot residue (GSR) particles from different ammunitions* – EU project AGIS: JLS/2005/AGIS/031, 2005-2007 (**wykonawstwo**).
4. *International study (proficiency test) on the comparability of forensic findings and statements on forensic gunshot residue investigation* – EU project AGIS: JLS/2006/AGIS/041, 2006-2008 (**wykonawstwo**).

5. *International Symposium on the Analysis and Detection of Explosives (9th ISADE)* – EU project AGIS: JLS/2006/AGIS/023, 2006-2007 (**wykonawstwo**).
6. *Education System in Forensic Sciences for Republic of Macedonia* – EU project TEMPUS/EDUFORMAK, Joint European Project 2006 JEP 41105 2006 (2006-2010) (**wykonawstwo**).
7. *Establishment of the „ENFSI Proficiency test on Identification of Gunshot Residues (GSR)” on an annual basis and development of a collaborative exercise on the uniform assessment of forensic findings in GSR investigations* - EU project ISEC: JLS/2008/ISEC/112, 2009-2012 (**wykonawstwo**).
8. *Badania trwałości i rozpowszechnienia pozostałości powystrzałowych celem oceny ich wartości dowodowej dla celów sądowych* – projekt badawczy nr. 0758/B/T00/2009/36 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (obecnie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju), 2009-2012 (**kierownictwo**).
9. *Analysis of glass frictionator within gunshot residue for forensic applications* – EU project nr. 173 SPIRIT (Support of Public and Industrial Research Using Ion Beam Technology) under EC contract no. 227012, accepted by the User Selection Panel (USP) – microbeam PIXE and PIGE at Department of Chemical Sciences, University of Surrey, UK (2012 – 2013).
10. *Development of analytical methods for sensitive detection and identification of organic gunshot residues based on liquid chromatography – mass spectrometry for routine casework* – HOME/2011/ISEC/AG/4000002504, 2012 – 2015 (**wykonawstwo**).

Projekty badawcze Instytutu Ekspertyz Sądowych:

11. I/K: *Badanie śladów powystrzałowych 1996 - 2000* (**kierownictwo**).
12. II/K: *Zastosowanie analizy ilościowej SEM-EDX do identyfikacji śladów kryminalistycznych w postaci odłamków szklanych, 1997 - 2000* (**kierownictwo**).
13. III/K: *Analiza składu tonerów do kserokopiarek kolorowych metodami MK FTIR i SEM-EDX, 1997* (**wykonawstwo**).
14. Pozaplanowy: *Identyfikacja materiałów kryjących typu tonery, 2000* (**wykonawstwo**).
15. I/K: *Fizykochemiczne badania śladów powystrzałowych pochodzących z różnych rodzajów amunicji do broni palnej, 2001* (**kierownictwo**).
16. I/K: *Interpretacja chemometryczna wyników analiz fizykochemicznych mikrookruchów szkła, 2002 - 2005* (**wykonawstwo**).
17. IV/K: *Zastosowanie metod statystycznych do oceny wartości dowodowej zabezpieczonych śladów powystrzałowych, 2002-2005* (**kierownictwo**).

18. IV/K: *Ocena wartości dowodowej pozostałości po wystrzale z broni palnej*, 2006-2007 (**kierownictwo**).
19. IV/K: *Badania trwałości i rozpowszechnienia pozostałości powystrzałowych*, 2008-2012 (**kierownictwo**).
20. VIII/K: *Kompleksowe badania śladów po wystrzale z broni palnej*, 2012-2016 (**kierownictwo**).

5. e Nagrody i wyróżnienia wynikające z działalności naukowej

- Dyplom Polskiego Towarzystwa Kryminalistycznego w Konkursie im. Prof. Tadeusza Hanauska za pracę roku 2004 z dziedziny Kryminalistyki: cykl prac badawczych poświęconych pozostałościom powystrzałowym, opublikowany w *Science and Justice* oraz *Forensic Science International*.
- Dyplom uznania ENFSI (European Network of Forensic Science Institutes) za aktywny udział w pracach Zarządu grupy roboczej ENFSI ds. środków wybuchowych (FINEX) w latach 2004 -2010.
- Dyplom Polskiego Towarzystwa Kryminalistycznego w Konkursie im. Prof. Tadeusza Hanauska za pracę roku 2009 z dziedziny Kryminalistyki w kategorii publikacje: cykl prac badawczych poświęconych fizykochemicznym badaniom mikrośladów kryminalistycznych, opublikowany w *Journal of Forensic Science*, *Forensic Science International* oraz *X-ray Spectrometry*.
- Liczne nagrody roczne Dyrektora Instytutu Ekspertyz Sądowych za osiągnięcia w pracy naukowej i opiniodawczej.

5. f Prezentacja referatów i komunikatów naukowych na konferencjach krajowych i międzynarodowych

Przygotowałam samodzielnie lub ze współautorami 43 prezentacji ustnych i 27 plakatów na konferencje krajowe i zagraniczne w dziedzinie krystalochemii, chemii analitycznej i chemii sądowej. Podkreśleniem zaznaczyłam osobę prezentującą.

Udział w konferencjach naukowych	Prezentacje ustne	Postery
Konferencje międzynarodowe (w tym po doktoracie)	28 28	19 9
Konferencje krajowe (w tym po doktoracie)	15 15	8 7
Łącznie (w tym po doktoracie)	43 43	27 16

Prezentacje ustne

Konferencje międzynarodowe

1. **Brożek-Mucha Z.**, *Selected cases of GSR examinations at the Institute of Forensic Research, Krakow*, 5th ENFSI Firearms and GSR Working Group Meeting, 30.09 - 2.10.1998 London, UK.
2. **Brożek-Mucha Z.**, *Differentiation among various types of ammunition by means of GSR examinations*, 6th Firearms and GSR Working Group Meeting, 29.09 - 1.10.1999 Scheveningen, The Netherlands.
3. **Brożek-Mucha Z.**, Zadora G., *Frequency of occurrence of certain chemical classes of GSR from various ammunition types*, Second European Academy of Forensic Science Meeting, 12 - 16. 09.2000, Krakow.
4. Zadora G., **Brożek-Mucha Z.**, Parczewski A., *A classification of glass microtraces*, Second European Academy of Forensic Science Meeting, 12- 16. 09.2000, Krakow.
5. Zadora G., **Brożek-Mucha Z.**, Parczewski A., *A differentiation of glass microtraces of the same qualitative composition*, Second European Academy of Forensic Science Meeting, 12 - 16. 09.2000, Krakow.
6. Zadora G., **Brożek-Mucha Z.**, Parczewski A., *Metody chemometryczne w klasyfikacji i dyskryminacji szkieł dla celów kryminalistyki*, I Konferencja „Chemometria - metody i zastosowania”, 18 - 21 października 2001, Zakopane.

7. **Brożek-Mucha Z., Zadora G.,** *Various aspects of using GSR examinations in case work*, 8th Firearms and GSR Working Group Meeting, 24 - 25.09. 2001, Brugge, Belgium.
8. **Zadora G., Brożek-Mucha Z.,** *Analysis of glass microtraces with SEM-EDX method – casework*, ENFSI Paint and Glass Working Group Meeting, 18 – 20.09.2002, Madrid, Spain (bez udziału).
9. **Zadora G., Brożek-Mucha Z.,** *SEM-EDX – the useful tool for forensic examinations*, XI International Conference on Electron Microscopy of Solids, 19 – 23 May 2002, Krynica, Poland (bez udziału).
10. **Brożek-Mucha Z., Zadora G.,** *Groupping of ammunition types by means of frequencies of occurrence of GSR*, 9th Firearms and GSR Working Group Meeting, 30.09 – 1.10.2002 Bratislava, Slovakia (bez udziału).
11. **Brożek-Mucha Z.,** *A Complex Examination of a Mine for Estimation of Age*, International Seminar on the Recovery of Forensic Explosives Evidence, 3 - 4 September, 2003 Fort Haste, Great Britain.
12. **Brożek-Mucha Z.,** *Examinations of various features of GSR collected from target in the dependence on the shooting distance* 2003 Istanbul, Turkey.
13. **Zadora G., Brożek-Mucha Z., A. Parczewski,** *Transfer of glass on garments while breaking multi-glazed panes*, 2003 Istanbul, Turkey.
14. **Zadora G., Brożek-Mucha Z., J. Zięba-Palus,** *On the recovery of glass traces from garments by brushing*, 2003 Istanbul, Turkey.
15. **Brożek-Mucha Z.,** *Selected chemometric metods in differentiation of GSR originating from various types of ammunition*, The 1st Milestone Meeting of the EU AGIS project: JAI/2003/AGIS/033, 2003 – 2005, “Chemometric evaluation of gunshot residue for differentiation among various types of ammunition and from environmental particles”, 19 – 22 February, 2004, Krakow, Poland.
16. **Brożek-Mucha Z.,** *A deadly shot with a signal flare – a case study*, 1st FINEX Conference, 14-16 April, 2004, Noordwijkerhout, The Netherlands.
17. **Zadora G., Brożek-Mucha Z., J. Zięba-Palus, Parczewski A.,** *Remarks on interpretation of recovered glass fragments originated from multiglazed windows*, ENFSI Paint and Glass WG meeting 20th - 22nd September 2004, Prague, Czech Republic (bez udziału).
18. **Brożek-Mucha Z.,** *A study of GSR collected from target in the dependence on shooting distance*, ENFSI Firearms and GSR Working Group 11th Annual Meeting, 13-15 October 2004, Madrid, Spain.

19. **Brożek-Mucha Z.**, Matching projectiles to gunshot holes in the case of multiple shooting to a passenger car by a number of shooters, ENFSI Firearms and GSR Working Group 2005 Meeting, 31 August - 2 September 2005, Oslo, Norway.
20. **Brożek-Mucha Z.**, Trzcińska B. *RDX amongst the residues from an airbag deployment*, 3rd FINEX Conference of the ENFSI Expert Working Group on Explosives, 19-21 April 2006, Lisbon, Portugal.
21. **Brożek-Mucha Z.**, *Distribution and properties of GSR in the vicinity of the shooting gun*, Firearms and GSR Working Group 14th Annual ENFSI EWGF Meeting, 5-7 September 2007, Prague, Czech Republic.
22. **Brożek-Mucha Z.**, *Identification of microtraces transferred onto projectiles from the car body*, The 15th ENFSI EWG Firearms and GSR Meeting, 14-17 October 2008, Dubrovnik, Croatia.
23. McCullough J., Schumacher R., Niewoehner L., Brouver-Stamouli A., **Brożek-Mucha Z.**, Gunaratnam L., *A European study of the prevalence of GSR in random population and selected professional groups*, The 16th ENFSI EWG Firearms and GSR Meeting, 21-24 October 2009, Wiessbaden, Germany.
24. **Brożek-Mucha Z.**, *The explosives reaction path and the components of ammunition as determinants of gunshot residue distribution in the vicinity of the shooting firearm*, The 7th FINEX Conference of the ENFSI Expert Working Group on Explosives, 10-11 June 2010, London, Great Britain.
25. **Brożek-Mucha Z.**, *Persistence of gunshot residue on the hands, face and clothing on the shooting person*, The 17th Annual Meeting of the ENFSI Expert Working Group Firearms and GSR, 9-12 November 2010, Paphos, Cyprus.
26. **Brożek-Mucha Z.**, *On the mechanism of gunshot residue formation in the vicinity of the shooting person*, The 18th World Meeting of the International Association of Forensic Sciences, 12-17 September 2011, Funchal, Madeira, Portugal.
27. **Brożek-Mucha Z.**, *Casework experiences with chemical and morphological examinations of gunshot residue collected from various evidence materials*, The 18th Annual Meeting of the ENFSI Expert Working Group Firearms and GSR, 25 -28 October 2011, Lisbon, Portugal.
28. **Brożek-Mucha Z.**, *Chemical and morphological examinations of particles originating from welding of steel and aluminium*, The 19th ENFSI EWG Firearms and GSR Meeting 12th - 15th June, 2012, Saint-Petersburg, Russia.

Konferencje krajowe

1. **Brożek-Mucha Z.**, *Zastosowanie elektronowej mikroskopii skaningowej i mikroanalizy rentgenowskiej w badaniach kryminalistycznych*, Seminarium ekspertów - chemików

z policyjnych laboratoriów kryminalistycznych, 13 – 15.05.1998, Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie.

2. Trzcińska B., **Brożek-Mucha Z.**, *Kryminalistyczna identyfikacja materiałów kryjących typu tonery*, II Konferencja „Techniczno- kryminalistyczne badania autentyczności dokumentów” 27 stycznia 2000, Poznań.
3. Trzcińska B., **Brożek-Mucha Z.**, *Identyfikacja tonerów metodami fizykochemicznymi*, IX Wrocławskie Sympozjum Badań Pisma, 14 – 16 czerwca, 2000 Wrocław.
4. Zadora G., **Brożek-Mucha Z.**, Zięba-Palus J., *Testy międzylaboratoryjne w badaniach mikrośladów kryminalistycznych*, I Konferencja Jakość w Chemii Analitycznej, 28 – 29.11.2002 Warszawa (bez udziału).
5. **Brożek-Mucha Z.**, Zadora G., Zastosowanie wybranych metod chemometrycznych do rozróżniania amunicji na podstawie badań pozostałości powystrzałowych, „Chemometria – Metody i Zastosowania” – II Konferencja, 2003, Zakopane.
6. **Brożek-Mucha Z.**, *Analiza śladów po wystrzale z broni palnej metodami SEM/EDX i FTIR*, Mikrosympozjum śladowej analizy organicznej, 10 – 11 marca 2005, Kraków
7. Steffen S., Niewoehner L., Barth M., Otto M., **Brożek-Mucha Z.**, Biegstraaten J., Horváth R., *Differentiation of Gunshot Residue of Various Ammunition Brands Investigated by SEM/EDX*, „Chemometria – Metody i Zastosowania” – III Konferencja, 19 – 22 października 2006, Zakopane.
8. **Brożek-Mucha Z.**, *Badania fizykochemiczne*, konferencja naukowa: "Generał Władysław Sikorski - historia życia i śmierci wybitnego polityka i żołnierza", 16 marca 2009, Kraków.
9. **Brożek-Mucha Z.**, *Znaczenie chemicznej analizy pozostałości po wystrzale z broni palnej w ekspertyzie kryminalistycznej*, VIII Polska Konferencja Chemii Analitycznej – Analityka dla społeczeństwa XXI wieku, 4 – 9 lipca 2010, Kraków.
10. **Brożek-Mucha Z.**, *Chemiczne i morfologiczne badania pozostałości powystrzałowych – znaczenie w kryminalistyce*, Konferencja „Fizykochemiczne Badania śladów kryminalistycznych, 29 listopada – 2 grudnia 2011”, Zakopane.
11. **Brożek-Mucha Z.**, *Użycie broni palnej – dowody spod mikroskopu*, Konferencja „Nauki sądowe w służbie wymiaru sprawiedliwości i organów ścigania” w ramach XIV Międzynarodowych Targów Analityki i Technik Pomiarowych, oraz I Międzynarodowych Targów Techniki Kryminalistycznej, 28 – 30 marca 2012, Warszawa.
12. **Brożek-Mucha Z.**, *Postrzał - poszukiwanie śladów w otoczeniu strzelającego*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Kryminalistyka, Policja, Bezpieczeństwo”, 26-28 września 2012, Kraków.

13. **Brożek-Mucha Z.**, *Zastosowanie spektrometrii rentgenowskiej w badaniach kryminalistycznych*, V Szkoła fluorescencyjnej analizy rentgenowskiej, 15 – 17 października 2012, Ustroń-Zawodzie.
14. **Brożek-Mucha Z.**, *Zależność składu chemicznego drobin powystrzałowych od rodzaju amunicji*, II Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Fizykochemiczne badania śladów kryminalistycznych”, 20 – 23 listopada 2012, Serock.
15. **Brożek-Mucha Z.**, *Zmiana składu chemicznego drobin powystrzałowych jako odzwierciedlenie rodzaju broni i amunicji używanej w kraju*, zebranie naukowe Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Kryminalistycznego, 9 stycznia 2012, Kraków.

Plakaty

Konferencje międzynarodowe

1. **Brożek Z.**, Stadnicka K., *Structure – optical activity relation in crystals of rubidium tartrate (RBT) and caesium tartrate (CST)*, Twelfth European Crystallographic Meeting, 20 – 29 August 1989, Moscow, USSR.
2. **Brożek Z.**, Stadnicka K., *Crystal structure and optical activity relationship in selected tartrates*, International School of Crystallography 16th Course: “Direct methods of solving crystal structures, 18 – 29 April 1990, Erice, Italy.
3. **Brożek Z.**, Stadnicka K., *Crystal structure and optical activity of sodium ammonium (+)-tartrate tetrahydrate (NAT)*, XVII School on Ferroelectric Physics, 17 – 21 September 1990, Borowice, Poland.
4. **Brożek Z.**, *Structural features of NAT paraelectric phase at 200, 151 and 120 K in relation to the behaviour of refractive indices*, XVIII School on Ferroelectric Physics, 16 – 20 September 1991, Borowice, Poland.
5. **Brożek Z.**, *Structural changes of NAT crystals with temperature in relation to selected properties*, Fourteenth European Crystallographic Meeting, 2 – 7 August 1992, Enschede, The Netherlands.
6. **Lingard R. J.**, **Arzt S.**, **Brożek Z.**, **Przesławski J.**, **Jakubas R.**, *The investigation of optical activity of birefringent crystal sections*, Fourteenth European Crystallographic Meeting, 2 – 7 August 1992, Enschede, The Netherlands.
7. **Brożek Z.**, **Mucha D.**, *Preliminary X-ray structure determination of NAT ferroelectric phase by Rietveld method*, XIX School and on Ferroelectrics Physics, XIX School and II East European Meeting on Ferroelectrics Physics, 21 – 25 September 1992, Przesieka, Poland 21 – 25 September 1992, Przesieka, Poland.

8. **Brożek Z.**, Stadnicka K., Sobiestijanskas R., Grigas J., *Preliminary study of the dielectric properties of ARS crystals in relation to the features of diffraction pattern*, XX School on Ferroelectric Physics, 20 – 24 September 1993, Karpacz, Poland.
9. **Mucha D.**, **Brożek Z.**, Stadnicka K., *Crystal structure of the para and ferroelectric phases of ARS from Rietveld refinement*, XX School on Ferroelectric Physics, 20 – 24 September 1993, Karpacz, Poland.
10. **Brożek-Mucha Z.**, Stadnicka K., *Variety of structures and physical properties of thallium (I) tartrates*, 9th Symposium on Organic Crystal Chemistry, Poznań – Rydzyna, 23 – 27 August, 1994.
11. **Trzcińska B.**, **Brożek-Mucha Z.**, *The possibilities of xerocopy (photocopy) toners identification by means of infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM-EDX)*, 10th International Conference on Fourier Transform Spectroscopy, 27 August – 1 September 1995, Budapest, Hungary.
12. **Brożek-Mucha Z.**, Chochół A., Trzcińska B., *Complex analysis of evidence for establishing circumstance of death*, Second European Academy of Forensic Science Meeting, 12- 16.09.2000, Krakow, Poland.
13. **Brożek-Mucha Z.**, Beata M. Trzcińska, *A bomb trap in a cemetery – a case study*, 2nd FINEX Conference of the ENFSI Expert Working Group on Explosives, 20 – 22 April 2005, Krakow, Poland.
14. **Brożek-Mucha Z.**, **Zadora G.**, Zięba-Palus J., Parczewski A., *Persistence of glass fragments after break-in through multiply glazed windows*, The 4th European Academy of Forensic Science Conference, 13 – 16 June 2006, Helsinki, Finland.
15. **Brożek-Mucha Z.**, *X-ray microanalysis of inorganic gunshot residue for forensic purposes*, European Microbeam Analysis Society (EMAS) 11th European Workshop on Modern Developments and Applications in Microbeam Analysis, 10 – 14 May 2009, Gdynia – Rumia, Poland.
16. **Brożek-Mucha Z.**, *A study of the elemental contents and morphology of gunshot residue collected from various substrates*, 5th European Academy of Forensic Science Conference EAFS2009, 8 – 11 September, Glasgow, Great Britain.
17. **Brożek-Mucha Z.**, *On the prevalence of gunshot residue in random population and professional groups – experiences of a forensic laboratory*, European Microbeam Analysis Society (EMAS) 12th European Workshop on Modern Developments and Applications in Microbeam Analysis, 15 – 19 May 2011, Angers, France.
18. **Brożek-Mucha Z.**, *Can welding particles be mistaken for gunshot residue?*, The 19th World Meeting of the International Association of Forensic Sciences, 12-17 September 2011, Funchal, Madeira, Portugal.

19. **Brożek-Mucha Z.**, *On the secondary transfer of gunshot residues and their prevalence in random population and professional groups - an empirical study*, The 18th Annual Meeting of the ENFSI Expert Working Group Firearms and GSR, 25 -28 October 2011, Lisbon, Portugal.

Konferencje krajowe

1. **Brożek Z.**, Olech A., Stadnicka K., *Niskotemperaturowe przemiany fazowe w winianach*, V Konferencja Kalorymetrii i Analizy termicznej PTKiAT, 1991, Zakopane.
2. **Brożek-Mucha Z.**, Zadora G., *Zastosowanie mikroskopii skaningowej do rozwiązywania spraw kryminalnych*, XLV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, 9-13 września 2002, Kraków.
3. Zadora G., Pawluk-Koło M., **Brożek-Mucha Z.**, Parczewski A., *Analizator GRIM 2 - skuteczne narzędzie w porównywaniu mikrookruszków szkła dla potrzeb ekspertyzy kryminalistycznej*. XLV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, 9-13 Września 2002, Kraków.
4. **Brożek-Mucha Z.**, *Chemiczna analiza śladów powystrzałowych*, VII Konferencja Chemii Analitycznej – Analityka w rozwoju cywilizacji, 2-7 lipca 2005, Toruń.
5. **Brożek-Mucha Z.**, Zadora G., Zięba -Palus J., Parczewski A., *Ocena wartości dowodowej drobin szkła w oparciu o skład pierwiastkowy i iloraz wiarygodności LR*, VII Konferencja Chemii Analitycznej – Analityka w rozwoju cywilizacji, 2-7 lipca 2005, Toruń.
6. **Brożek-Mucha Z.**, Steffen S., Niewoehner L., Barth M., Otto M., Biegstraaten J., Horváth R., *A study of the element contents and morphology of GSR originating from chosen brands of 9 mm Luger ammunition*, "Chemometria – Metody i Zastosowania" – III Konferencja, 19 – 22 października 2006, Zakopane.
7. **Brożek-Mucha Z.**, *Trwałość śladu kryminalistycznego w postaci drobin powystrzałowych*, VIII Polska Konferencja Chemii Analitycznej – Analityka dla społeczeństwa XXI wieku, 4 – 9 lipca 2010, Kraków.
8. **Brożek-Mucha Z.**, Słoka T., *Zmienność składu chemicznego cząstek powystrzałowych w otoczeniu osoby strzelającej*, VIII Polska Konferencja Chemii Analitycznej – Analityka dla społeczeństwa XXI wieku, 4 – 9 lipca 2010, Kraków.

Z. Brożek-Mucha