

ENERGY DISPERSIVE X-RAY ANALYSIS OF BLACKENED BULLET RESIDUE PATTERNS

Narayan P. WAGHMARE¹, Anadamoy MANNA², Mottamari S. RAO³,
Akhlesh Kumar DOHARE¹

¹ *Central Forensic Science Laboratory, Kolkata, India*

² *Department of Physics, Jadavpure University, Kolkata, India*

³ *Directorate of Forensic Science, New Delhi, India*

ABSTRACT: The presence of antimony, lead, barium, nickel, copper and silicon or combinations of these elements at the scene of crime can confirm whether firing has taken place or not. In this paper, laboratory test firings were carried out at a target consisting in a paper and glass layers using .315"/8 mm calibre ammunition and an Indian sporting rifle. Blackened bullet residue particles obtained in this manner found on a paper target supported by various thicknesses of window panes were studied. A very large percentage of blackened bullet residue particles containing lead, antimony and silicon were found in these tests. Samples taken from the surface of the paper target were examined by means of a scanning electron microscope coupled with an energy dispersive X-ray analyser (SEM-EDX).

Observations relating to forensic problems, such as proximity between the shooter and the windowpane target, size of hole, direction of firing etc. are elaborately discussed in relation to the blackened bullet residue pattern. Bullet residue giving the appearance of blackening found on one of two layers of a target could be confusing to the forensic ballistics expert at the crime scene – it could be wrongly interpreted as powder pattern. The current study was undertaken in order to avoid such mistakes in cases of using .315"/8 mm calibre ammunition and an Indian sporting rifle.

KEY WORDS: Firearm; Glass target; GSR; Blackened bullet residues; Blackening; SEM-EDX.

Problems of Forensic Sciences, vol. LIX, 2004, 66–78

Received 5 August 2003; accepted 18 May 2004

INTRODUCTION

In a number of crime cases, the examiner has no previous information about the sample to be examined, hence the examination procedure requires maximum information without destroying or altering the exhibit samples. In a forensic laboratory, the investigating officers are frequently asked to supply maximal information on exhibit samples without changing or using up the exhibit specimen. The SEM-EDX technique can be used to study ex-

hibit materials such as gunshot residue (GSR) particles, providing both their characteristic image and an energy dispersive X-ray spectrum [1, 2, 3, 4, 9].

A little scientific analysis of crimes related to the ballistic phenomenon can provide a solution to investigative problems. Forensic ballistics experts make use of science and engineering skills relating to instrumentation based on physics, chemistry, photography, forensic medicine etc. to link the criminal with the crime.

Gunshot residues can be detected and identified by various analytical methods such as flame-less atomic absorption spectroscopy (FAAS) [10], neutron activation analysis NAA [5, 7] and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry ICP-AES [6]. Thus, they are currently applied in many forensic laboratories. It has been found that the concentrations of lead, antimony and barium are uniform in various types of cartridges. There are a number of reports available about the detection of gunshot residues and their anticipated sources by the SEM-EDX method [1, 2, 3, 4, 9]. However, there are not many publications available regarding the study of blackened bullet residue patterns on targets, such as cloth or paper, supported by a windowpane. Messler et al. [8] studied bullet residues obtained by means of a .30" rifle, .45" and .38" revolver and .22" rifle with a soft pointed bullet fired through a glass target onto a paper target in respect of morphological and elemental analysis.

When a gun is fired and the bullet ejected, the residues are formed as a mixture of partially molten bullet and products of chemical reactions of the primer and the propellant. Bullet residue is deposited on the back of the material (paper) being the first layer of target in the form of a characteristic pattern, which depends on the strength of the glass target.

.315"/8 mm calibre ammunition and firearms are widely used in India because they are licensed for hunting and sporting purposes. However, insufficient data are available on the impact of this ammunition on windowpanes either to the public or the police.

In the presented experimental studies, an attempt has been made to investigate the elemental contents and the morphology of particles present amid the blackened bullet residue pattern observed on the exit side of the paper target in front of windowpanes of different thicknesses. A unique blackened bullet residue pattern was found on the exit side of the paper target supported by window panes as compared to normal blackening at the entry side of the target originating from the primer and propellant. The presented experimental data could be useful as corroborative evidence at the scene of crime.

MATERIALS AND METHODS

Sample preparation

12 × 12 inch windowpanes were held in a vertical plane with the help of a specially constructed iron frame. The sporting rifle was held at right angles to the target, which was fixed to a heavy wooden table. The firing arrangement used in the experiments is shown in Figure 1. For measuring muzzle velocity, two more aluminium screens with other timers were placed in front of the glass target.

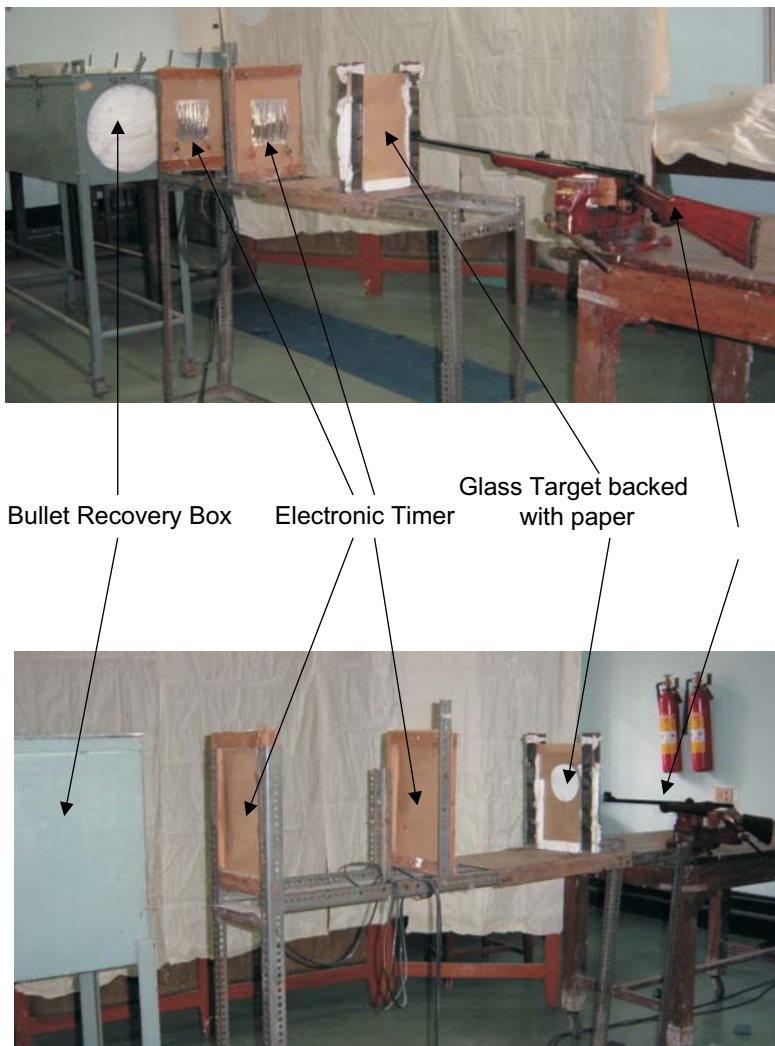


Fig. 1 Firing arrangement.

Twelve test firings were carried out in a laboratory, using a .315" rifle with 8 mm soft-pointed bullets passing through different thicknesses of windowpanes backed by high quality filter paper. Examples of typical bullet residue patterns are shown in Figure 2. The blackened bullet residue pattern formed on the Whatman filter paper targets was sampled using exclusively fabricated aluminium stubs, having a diameter of 0.999 inch with double-sided adhesive carbon tabs. Colloidal graphite at one point on each stub was used to increase the electric conductivity between the exhibit sample and the aluminium stubs to avoid charge build-up during SEM-EDX examinations.

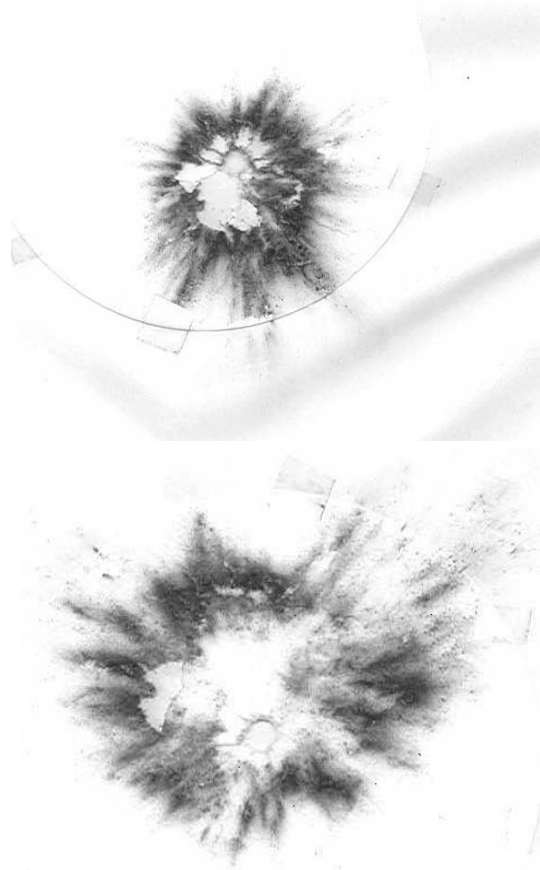


Fig. 2. Blackened bullet residue effect on the target.

The aluminium stubs containing blackened bullet residue particles were then coated with a thin layer of gold using a gold sputter, model Polaron SC 515, No. 94-10-C-062.

Scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry

All the samples were analysed by SEM/EDX manually.

The blackened bullet residue materials collected on the stubs were scanned under a high powered model MK 250 electron microscope equipped with an EDX computerised system manufactured by Oxford Instruments Ltd. Blackened bullet particles were located and their physical dimensions measured. They were photographed using a Ricoh camera.

A primary electron beam of acceleration voltage 20 kV was used to scan the samples. Images of blackened bullet residue patterns produced by detection of secondary electrons were obtained.

X-ray spectra and distribution maps were obtained using energy dispersive spectrometry. Quantitative elemental analysis for chosen particles was performed with the use of ZAF correction procedure, taking into account the effect of the atomic number of the elements present in the measured sample (Z) as well as the phenomena of absorption (A) and fluorescence (F) of X-ray radiation.

RESULTS AND DISCUSSION

Table I shows that the blackened bullet residue pattern changes with the thickness of the glass pane. The diameter of the glass hole obtained after firings also varies with the thickness of the glass pane. The energy loss of the soft nose bullet in the glass pane also depends upon the thickness of the glass and the type of ammunition.

Samples of particles obtained by means of .315"/8 mm soft pointed projectiles fired through various glass targets were examined using the SEM-EDX method. Relatively high lead and silicon concentrations were observed in samples taken from the reverse surface of the paper target supported by a windowpane. X-ray spectra from the bullet residue blackened pattern showed the presence of three major elements: antimony (Sb), lead (Pb) and silicon (Si) in addition to carbon (C) from the substrate and gold (Au) from the sputtering. Lead, silicon and antimony distribution appeared not to be uniform over the blackened surface. It was found that the characteristic elements of the patterns obtained with the use of .315"/8 mm soft pointed bullets are the following: lead, silicon and antimony without barium. An example of the quantitative elemental contents of a particle that is rich in lead and silicon is presented in Table II.

TABLE I. EXPERIMENTAL DATA ON FIRING THROUGH WINDOWPANES FOR THE EXAMINATION OF BLACKENED BULLET RESIDUE PARTICLES

| Test no. | Thickness of glass pane [mm] | Distance from muzzle to glass target [inch] | Muzzle velocity of firearm [m/s] | Remaining velocity in [m/s] | Diameter of the hole obtained after firing [mm] |
|----------|------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1 | 2.6 | 31.5 | 482.9 | 261.3 | 19.3 |
| 2 | 2.6 | 96 | 468.7 | 294.0 | 14.5 |
| 3 | 2.6 | 12 | 426.1 | 255.3 | 8.4 |
| 4 | 2.6 | 120 | 458.8 | 281.8 | 19.5 |
| 5 | 3.8 | 120 | 504.4 | 321.5 | 19.8 |
| 6 | 3.8 | 120 | 460.2 | 281.8 | 19.1 |
| 7 | 3.8 | 120 | 463.6 | 282.3 | 19.2 |
| 8 | 3.8 | 120 | 472.4 | 284.6 | 19.3 |
| 9 | 10 | 48 | 476.1 | 369.3 | 17.9 |
| 10 | 10 | 120 | 526.7 | 398.8 | 18.6 |
| 11 | 10 | 160 | 512.2 | 290.9 | 19.7 |
| 12 | 10 | 120 | 480.9 | 311.0 | 18.7 |

Firearms used: .315" calibre, made in R.F.I., India; ammunition used: .315"/8 mm, K.F., 1993, India.

The capability of scanning electron microscopy to produce images of the surface topography of blackened bullet residue particles deposited during firing through glass was also utilised. In general, GSR particles found in samples from shooting incidents contained lead and antimony, whereas silicon and barium content was much lower than that of lead. However, from our experiments, it was observed that blackened bullet residue particles were obtained at the exit side of the paper target when soft pointed bullets were fired at an ordinary windowpane. Particles were both spherical and irregular in shape (see Figures 3 a and 3 b respectively) with lead, antimony and silicon being the major elements present in the blackened target. Possible reasons for varying of the lead enrichment level (for .315"/8 mm soft pointed projectiles) on the filter paper target in front of the windowpane may be the heat of the lead alloys of the bullet in contact with sharp edges of glass particles travelling towards the filter paper target and depositing on it. Thus, the results of this experimental study showed that the blackened pattern particles found on the target could be highly enriched by lead.

TABLE II. THE QUANTITATIVE ELEMENTAL CONTENTS OF A TYPICAL BLACKENED BULLET PATTERN RESIDUE ORIGINATING FROM A .315"/8 mm SOFT NOSE BULLET FIRED THROUGH AN INTERMEDIATE TARGET (ZAF CORRECTION PROCEDURE WAS USED)

| Chemical element | Concentration [wt. %] | Error [wt. %] |
|------------------|-----------------------|---------------|
| Si | 32.118 | 0.146 |
| Cr | 0.019 | 0.079 |
| Al | 0.373 | 0.090 |
| Ba | 0.000 | 0.001 |
| Pb | 40.653 | 1.556 |
| Zn | 0.001 | 0.097 |
| Sb | 0.357 | 0.305 |
| Ni | 0.185 | 0.118 |
| Cu | 0.114 | 0.143 |
| Ca | 6.794 | 0.112 |
| Au* | 19.386 | 1.022 |

* Gold originates from the coating of the sample.

It was observed that the intensity and size of pattern of the blackened bullet residue could depend on the distance between glass and paper (the greater the distance, the smaller the intensity and the greater the size of the pattern). Blackened bullet residue patterns differ from shot to shot, and also depend on the number of shots, the length of the barrel and calibre of the weapon. Furthermore, in the majority of crime cases we have encountered, it was also revealed that, when the shooter fires at an angle, the angled blackened pattern is spread out to the side away from the gun barrel and vice versa.

Beyond a certain intermediate shot range, no more blackened residues can be found on the target. This distance, which is the maximum limit of an intermediate shot range, depends on the firearm. It was also noted that the blackened residue effect could be obtained on a paper target present in front of a window/door pane using a soft nose projectile, and in such a case the presence of the following elements was revealed: lead, silicon and antimony at relatively high concentrations.



Fig. 3 a. Lead particle (regular) on the target under SEM.

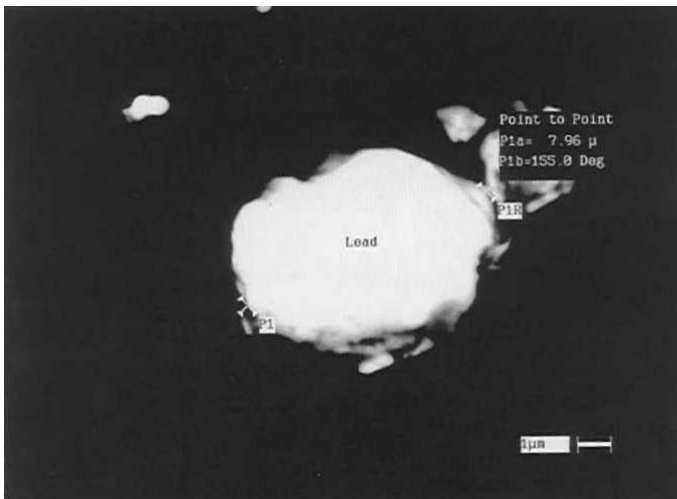


Fig. 3 b. Lead particle (irregular) under SEM.

SUMMARY

SEM/EDX analysis of .315"/8 mm calibre soft nose bullet residue patterns showed that the surface concentrations of lead and silicon are much higher than those of other elements. It is clear that the use of elemental analysis with SEM/EDX instrumentation could significantly improve the success rate of recognition of blackened bullet residue particles and so pro-

vide a valuable contribution to the appropriate reconstruction of shooting incidents.

Acknowledgment: The authors are very thankful to Dr. V. K. Kashyap, Director, Central Forensic Science Laboratory, Kolkata, for his encouragement and helpful attitude.

References:

1. Dimaio V. J. M., Dana S. E., Taylor W. F., Use of scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray analysis (SEM-EDXA) in identification of foreign material on bullets, *Journal of Forensic Sciences* 1987, vol. 32, pp. 38–47.
2. Glob J. A., Midkiff C. R. Jr., Firearm discharge residue sample collection techniques, *Journal of Forensic Sciences*, vol. 20, pp. 701–707.
3. Goldstein J. I., Newbury D. E., Echlin P. [et al.], Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis, Plenum Press, New York 1984.
4. Gunaratnam L., Himberg K., The identification of gunshot residue particles from lead-free Syntax ammunition, *Journal of Forensic Sciences* 1994, vol. 39, pp. 532–536.
5. Hoffman, C.M., Neutron activation analysis for the detection of firearm discharge residues collected with cotton swabs, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 1973, vol. 56, pp. 1388–1390.
6. Koons R. D., Havekost D. G., Peters C. A., Determination of barium in gunshot residue collection swabs using inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, *Journal of Forensic Sciences* 1988, vol. 33, pp. 35–41.
7. Lukens H. R., Schlesinger H. L., Guinn V. P. [et al.], Forensic neutron activation analysis of bullet-lead specimens, USAEC Report GA-10141, Gulf General Atomic Incorporated 1970.
8. Messler H. R., Armstrong W. R., Bullet residue as distinguished from powder pattern, *Journal of Forensic Sciences* 1978, vol. 23, pp. 687–692.
9. Mogami K., Fukuda K., Particle analysis for the detection of gunshot residue using a scanning electron microscope with EDX. Reports of the National Research Institute of Police Science, *Research on Forensic Science* 1955, vol. 48, pp. 46–57.
10. Renshow G. D., Pounds C. A., Pearson E. F., The quantitative estimation of lead, antimony and barium in gunshot residues by non-flame atomic absorption spectrophotometer, *A. A. News Letter* 1973, vol. 12, pp. 55–56.

ANALIZA PIERWIASTKOWA METODĄ SEM-EDX POZOSTAŁOŚCI POWYSTRZAŁOWYCH W POSTACI ZACZERNIENIA OD POCISKU

Narayan P. WAGHMARE, Anadamoy MANNA, Mottamari S. RAO,
Akhlesh KUMAR DOHARE

WPROWADZENIE

W przypadkach wielu przestępstw biegły nie posiada żadnej uprzedniej informacji o materiale dowodowym przekazanym do badań, a procedura badawcza wymaga uzyskania maksymalnie dużej ilości informacji bez niszczenia lub dokonywania zmian próbek dowodowych. Od specjalistów pracujących w laboratoriach nauk sądowych często wymagane jest, aby dostarczali oni jak najwięcej informacji o materiale dowodowym bez jego zmieniania czy też zużywania. Metoda elektronowej mikroskopii skaningowej sprzężonej z energodispersyjną spektrometrią rentgenowską (SEM-EDX) może być zastosowana do przeprowadzenia nieniszczących badań materiału dowodowego w postaci pozostałości powystrzałowych w celu ustalenia ich charakterystycznej budowy i składu pierwiastkowego [1, 2, 3, 4, 9].

Nawet niezbyt złożona analiza śladów użycia broni palnej z wykorzystaniem współczesnych metod analitycznych stosowanych w naukach sądowych może wnieść istotny wkład w rozwiązanie problemów dotyczących badanego przestępstwa już na etapie dochodzenia. W celu ustalenia związku przestępcy z miejscem zdarzenia eksperci balistyki wykorzystują doświadczenia i umiejętności techniczne oraz zdobycze współczesnej nauki m.in. z dziedziny fizyki, chemii, fotografii i medycyny sądowej, wyrażające się zastosowaniem metod analizy instrumentalnej.

Pozostałości powystrzałowe (ang. gunshot residue – GSR) mogą być ujawniane i identyfikowane za pomocą różnych metod analitycznych, takich jak bezpłomieniowa atomowa spektroskopia absorpcyjna (ang. flameless atomic absorption spectroscopy – FAAS) [10], neutronowa analiza aktywacyjna – NAA [5, 7] i atomowa spektroskopia emisyjna ze wzbudzeniem w płazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-AES) [6]. Metody te są obecnie stosowane w wielu laboratoriach nauk sądowych. Zauważono, że obecność ołowiu, antymonu i baru jest typowa dla różnych rodzajów naboju. W literaturze przedmiotu istnieje wiele doniesień na temat badań pozostałości po wystrzale i podobnych cząstek, lecz pochodzących z innych źródeł niż użycie broni palnej, dokonywanych za pomocą metody SEM-EDX [1, 4, 9]. Niewiele jest jednak informacji dotyczących zaczerwienia pochodzącego od pocisku odwrotnej strony tarczy strzelniczej, wykonanej z tkaniny lub papieru, a przylegającej do szyby. Messler i in. [8] badali tego rodzaju ślady na tkaninie i papierze naniesione za pomocą amunicji myśliwskiej z pociskiem ołowianym bez płaszczka i półpłaszczkowym kalibru 0.30 i .38 cala oraz amunicji rewolwerowej kaliber .45 i .22 cala, z uwzględnieniem morfologii i składu pierwiastkowego cząstek.

Efektom użycia broni palnej jest wystrzelony pocisk i pozostałości powystrzałowe, w tym cząstki metaliczne formujące się z mieszaniny częściowo stopionego ma-

teriału pochodzącego z pocisku, spłonki i ładunku miotającego. Pozostałości powystrzałowe pochodzące z pocisku osadzają się u w formie charakterystycznego wzoru, którego kształt zależy od wytrzymałości szkła.

Amunicja i broń kaliber .315 cala/8 mm są licencjonowane i powszechnie używane w Indiach w celach sportowych i myśliwskich. Jednak dane dotyczące skutków użycia tej broni i amunicji, czyli tzw. balistyki terminalnej, przy strzałach do tafli szklanych, nie są powszechnie znane również w kręgach policji. W prezentowanym eksperymencie podjęto próbę zbadania cząstek obecnych w pozostałościach w postaci zaczernienia tarczy, które są obserwowane po stronie otworu wylotowego w warstwie papieru przyłożonego do różnej grubości szyb okiennych. Szczególnie intensywne zaczernienie obserwowano po stronie otworu wylotowego w tarczy papierowej przyłożonej do szyby okiennej, w porównaniu z normalnym osmałeniem, obserwowanym po stronie wlotowej. Prezentowane wyniki doświadczeń mogłyby być użyteczne jako dowód potwierdzający fakt użycia broni palnej na miejscu zdarzenia.

MATERIAŁ I METODY

Przygotowanie próbek

Szyby okienne o wymiarach 12 × 12 cali były utrzymywane w ustalonej pozycji w płaszczyźnie pionowej za pomocą specjalnie skonstruowanej żelaznej ramy.

Karabinek sportowy ustawiony był pod kątem prostym do tarczy zamocowanej na ciężkiej drewnianej ławie. Stanowisko do strzelania pokazano na rycinie 1. W warunkach laboratoryjnych przeprowadzono dwanaście eksperymentalnych strzałów z użyciem karabinka kaliber .315 cala i amunicji 8 mm (z ołowianym pociskiem) przechodzącym przez różnej grubości szyby okienne, do których przykładano warstwę wysokiej jakości filtra papierowego firmy Whatman. Przykład wzoru zaczernienia odwrotnej strony tarczy papierowej, pochodzącego od pocisku, pokazano na rycinie 2. Próbkę tak ukształtowanych pozostałości powystrzałowych pobierano na specjalnie wyprodukowane aluminiowe stoliki o średnicy 0,999 cala za pomocą dwustronnie przylepnych krążków węglowych. Koloidalny grafit naniesiono w jednym punkcie każdego stolika, aby zwiększyć przewodnictwo elektryczne między badaną próbką a stolikiem aluminiowym i uniknąć jej elektrostatycznego ładowania się pod wpływem wiązki elektronowej w czasie analizy.

Stoliki aluminiowe z materiałem przylepnym i naniesionymi na nie cząstkami pozostałości powystrzałowych były następnie pokryte cienką warstwą złota przy użyciu napyłarki, model Polaron S.C. 515, numer 94-10-C-062.

Elektronowa mikroskopia skaningowa sprzężona z energodispersyjną spektrometrią promieniowania X

Wszystkie próbki były analizowane manualnie przy użyciu metody SEM-EDX.

Pozostałości powystrzałowe pochodzące z pocisku, zebrane na stoliki mikroskopowe, były badane przy użyciu sterowanego komputerowo elektronowego mikroskopu skaningowego o wysokiej rozdzielczości marki Oxford, model MK 250, wyposażonego w energodispersyjny spektrometr promieniowania rentgenowskiego. Cząstki pozostałości powystrzałowych lokalizowano i mierzono ich fizyczne rozmiary, a następnie fotografowano, używając aparatu fotograficznego Ricoh.

Próbki badano przy napięciu przyspieszającym elektrony wiązki pierwotnej, wynoszącym 20 kV. Obserwowano obrazy pozostałości powystrzałowych z wykorzystaniem elektronów wtórnych. Widma rentgenowskie i mapy rozkładu pierwiastków w próbkach otrzymywano metodą energodispersyjnej spektrometrii promieniowania rentgenowskiego. Analizę ilościową wybranych cząstek przeprowadzono z zastosowaniem procedury korekcyjnej ZAF uwzględniającej wpływ liczby atomowej pierwiastków zawartych w próbce (matrycy) oraz zjawiska absorpcji (A) i fluorescencji (F) promieniowania rentgenowskiego.

WYNIKI I ICH DYSKUSJA

Z tabeli I wynika, że wzór zaczernienia pochodzącego od pocisku zmieniał się wraz z grubością szyby. Średnica otworu powstałego w wyniku strzelania również zmieniała się w zależności od grubości szkła. Także straty energii pocisku podczas przechodzenia przez szybę zależały zarówno od rodzaju pocisku, jak i grubości szkła.

Metodą SEM/EDX zbadano wszystkie próbki pozostałości powystrzałowych otrzymanych przy użyciu bezpłaszczowego pocisku ołowianego o kalibrze .315"/8 mm, przy strzałach do różnej grubości tarcz szklanych. W badanych próbkach materiału pobranego z odwrotnej powierzchni tarczy papierowej opartej na szybie zaobserwowano względnie wysokie stężenia ołowiu i krzemu. Na podstawie uzyskanych widm rentgenowskich pozostałości po pocisku stwierdzono obecność trzech głównych pierwiastków: antymonu (Sb), ołowiu (Pb) i krzemu (Si), nie licząc węgla (C) wchodzącego w skład podłoża oraz złota (Au) pochodzącego z napylenia próbki.

Rozłożenie ołowiu, krzemu i antymonu na powierzchni osmalenia nie jest jednolite. Stwierdzono, że dla badanej amunicji kaliber .315"/8 mm z pociskiem półpłaszczowym pierwiastkami charakterystycznymi są ołów, krzem i antymon, bez baru.

Wykorzystano ponadto przydatność metody elektronowej mikroskopii skaningowej do wizualizacji zewnętrznej topografii cząstek pozostałości po pocisku osadzających się podczas strzelania na odwrotnej stronie cienkiej tarczy papierowej przylegającej do tarczy szklanej. Za pomocą metody SEM-EDX można było ponadto zbadać profile dystrybucji głównych pierwiastków wchodzących w skład GSR.

Ogólnie rzecz biorąc, cząstki powystrzałowe znajdujące w próbkach dowodowych w sprawach dotyczących postrzałów zawierały głównie ołów i antymon, natomiast zawartości krzemu i baru były dużo mniejsze. Wykonując eksperymenty opisane w niniejszej pracy, zaobserwowano jednak, że zaczernienie po stronie otworu wylotowego w tarczy papierowej tworzyło się jedynie wówczas, gdy użyto ołowianych pocisków bezpłaszczowych i szyb ze zwykłego szkła. Cząstki występujące pośród zaczernienia wykazywały kształt zarówno sferyczny, jak i nieregularny (zob. ryciny 3a oraz 3b) i zawierały ołów, antymon oraz krzem jako główne składniki zaczernienia tarczy pochodzącego od pocisku. Przyczyną niejednorodności stężenia ołowiu w zaczernieniu tarczy papierowej opartej na szybie może być wzrost ciepła stopu ołowianego pocisku w kontakcie z ostrymi brzegami otworu wlotowego w szybie i cząstek szkła przemieszczających się w kierunku tarczy papierowej i osadzających się na niej. Rezultaty opisanego eksperymentu dowodzą zatem, że zaczernienie powstałe na tarczy może zawierać znaczne ilości ołowiu.

Zauważono ponadto, że intensywność i rozmiar zaczernienia tarczy może zależeć od odległości między szkłem i papierem (im większa odległość, tym mniejsza inten-

sywność i większy rozmiar zaczerwienienia). Kształty zaczerwienień różnią się między sobą i zależą od liczby strzałów, długości lufy i kalibru broni. Dlatego też w wielu przypadkach przestępstw, gdy broń była ustawiona skośnie do powierzchni przestrzeliny, osmalenie miało kształt wydłużony. Było ono rozciągnięte w kierunku od lufy (przy większych kątach między lufą a powierzchnią tarczy) i *vice versa*.

Powyżej pewnej pośredniej odległości strzału nie obserwowano już zaczerwienienia tarczy. Odległość ta, będąca maksymalną granicą pośredniej odległości zasięgu, zależy od rodzaju i egzemplarza broni palnej. Zaobserwowano, że podobny efekt zaczerwienienia może być uzyskany na tarczy złożonej z warstwy papieru i szyby okiennej w przypadku użycia amunicji z pociskiem półpłaszczowym. Ujawnione wówczas na tarczy cząstki powystrzałowe również charakteryzują się obecnością ołowiu, antymonu i krzemu o znacznym stężeniu.

PODSUMOWANIE

Analiza metodą SEM-EDX materiału zaczerwienienia pochodzącego od półpłaszczowego lub bezpłaszczowego pocisku o kalibrze 0,315 cala/8 mm wykazała, że zawiera ono ołów i krzem w stężeniu wyższym niż inne pierwiastki.

Jest oczywiste, że zastosowanie analizy pierwiastkowej metodą SEM-EDX mogłoby znacząco zwiększyć skuteczność wykrywania cząstek powystrzałowych pochodzących z pocisku i przyczynić się w ten sposób do prawidłowej rekonstrukcji zdarzenia z użyciem broni palnej.

Podziękowanie: Autorzy są bardzo wdzięczni doktorowi V. K. Kashyapowi, kierownikowi Centralnego Laboratorium Nauk Sądowych w Kalkucie, za zachętę i wszelką pomoc przy wykonywaniu badań.