TÓTH ENIKÓ

Lőmaradványok alternatív vizsgálatainak tapasztalatai

A tűzfegyverrel elkövetett bűncselekmények gyakran az emberi élet kioltására irányulnak, ezért különösen nagy jelentőségű az elkövető kilétének mielőbbi felderítése. Ebben igen fontos szerepet tölt be a lövés során keletkező lőmaradványok mikroanalitikai elemzése. Az eljárás alá vont személyek kezét, adott esetben a ruházatuk felszínét egy szénalapú, ragacsos felületű, kör alakú mintahordozóval tapogatják le. A biztosított anyagmaradványok vizsgálata igazságügyi fizikus szakértő feladatkörébe tartozik. Ő viszont nincs könnyű helyzetben, ugyanis a lőszergyártóknak nem kötelességük nyilvánosságra hozni a különböző gyúelegek összetételét, vagy az abban végrehajtott változtatásokat. Ez az információ ipari titok, még a kutatók és a lőmaradványokkal foglalkozó szakemberek számára sem teszik hozzáférhetővé. Éppen ezért a szakértők munkáját nagyban segítheti, ha a fegyvertani laboratóriumokban rendelkezésre álló, ismert lőszerekkel tesztlövéseket végeznek, és különböző analitikai módszerekkel vizsgálják az elkészített minták morfológiai paramétereit, illetve elemi és molekuláris összetételét.

A lőmaradványok jellemzése

Amikor egy tűzfegyvert elsütünk, számos olyan, kémiai folyamat megy végbe, amelyek igen kis méretű lőmaradvány-részecskék (az angol elnevezés szerint Gun Shot Residue; GSR) képződésével járnak. Ezek a szemcsék a fegyver minden lehetséges nyílásából füst formájában távoznak, és finom részecskékké szilárdulva kerülnek ki a környezetbe. A szemcsék többsége a fegyver csőtorkolatából nagy sebességgel repül ki, majd erősen lelassulva néhány méter távolságra juthat. Közelről leadott lövés esetén lerakódnak a lövedék becsapódási helyének környezetében (például a lövést elszenvedő személy ruházatára, esetleg a kezeire). A lőmaradvány-részecskék kis része a levegő turbulenciája miatt visszaszóródik a lövő, illetve az esetlegesen a csőtorkolat közelében tartózkodó személy kezeire, ruházatára. Fontos megjegyezni, hogy ezek a visszaszóródó részecskék átlagban kisebbek, mint az elő-

re haladó társaik, a nagyobbak ugyanis tehetetlenségüknél fogva nem tudnak hátra vagy oldalirányba szóródni, azok mindig a lövés irányába repülnek. Korántsem elhanyagolandó az a tény, miszerint a szemcsék lerakódását a lövés pillanatában uralkodó légáramlatok iránya és sebessége is erősen befolyásolja.

Budapesten történt meg az az eset, amikor egy étterem galériáján három külföldi állampolgárságú férfi hevesen vitatkozott. A szóváltás során valamelyikük elővett egy engedély nélkül tartott lőfegyvert, és combon lőtte az egyik társát. A sértett farmerjén több száz lömaradványszemcsét sikerült felkutatni, a gyanúsított nadrágján pedig szintén találtunk néhány részecskét. A sértett és a gyanúsított kezein, valamint a harmadik férfi ruházatán és kezein viszont nem tudtunk egyértelműen a lőfegyver elsütéséhez köthető szemcséket kimutatni. A vallomásokból az derült ki, hogy az incidens szereplői a lövés pillanatában is dulakodtak, és a gyanúsítotton kívül még a harmadik férfi is fogta a fegyvert. Hogyan lehetséges az, hogy sem a kezeire, sem a ruházatára nem kerültek lömaradványok? Az étterem belső teréről készült, az interneten elérhető digitális fényképeken jól látszik, hogy a galéria közvetlen közelében egy mennyezeti ventilátor van. Ez a berendezés képes akkora légáramlatot létrehozni, amely a kisebb sebességű, visszaszóródó GSR-szemcséket könnyedén elfújhatta, így azok nem tudtak lerakódni a kérdéses felületeken.

A távozó füstfelhőben lévő szilárd részecskék levegőben történő szétszóródása, illetve lerakódása statisztikus folyamat, ezért nem lehet előre megjósolni, hogy például egy tárgy felszínére pontosan mennyi lömaradványszemcse kerül. Csak nagyságrendi becsléseket lehet adni, figyelembe véve a lövés irányát és távolságát, a fegyver és a lőszer típusát, illetve minőségét.

Nézzük meg, milyen részecskék kibocsátására kell számítanunk, azaz milyen anyagok hagyják el a fegyver nyílásait! A lőszerhüvely zárt végén elhelyezett csappantyúcsészébe (vagy a hüvely peremére) felhordott gyúelegy mintegy 0,02 gramm tömegű, speciális anyag, amely mechanikai ütésre robbanó vegyületeket tartalmaz. E kis mennyiségű töltet robbanása általában tökéletesen megy végbe, amelynek során igen apró, a milliméter ezredrészének nagyságrendjébe tartozó, szilárd halmazállapotú égéstermékek is keletkeznek. Ezzel szemben a lőpor égéstermékei gáz halmazállapotúak, nem képesek lerakódni, a lövés után semmilyen módon nem lehet felfogni őket. A gyúelegyhez képest sokkal nagyobb mennyiségben alkalmazott lőpor robbanása sohasem tökéletes, ezért a csőtorkolatból az elégett gyúeleggyel együtt mindig távozik némi el nem égett lőpor is. Nem szabad elfeledkeznünk azokról a fémes komponensekről sem, amelyek a lövedék, a lőszerhüvely, illetve a fegyver csövének kopadékaként jelentkeznek, ezek is szép számmal képviseltetik magukat a csövet elhagyó füstfelhőben.

Az igazságügyi fizikus szakértő által végzett GSR-vizsgálatok elsősorban a gyúeleggégéstermékeinek felkutatására irányulnak, ezért az itt ismertetett kutatások középpontjában is ezek az egyedi, különleges tulajdonságokkal bíró részecskék álltak. A legáltalánosabban használt gyúelegek fő komponensei a következők:

- ólom-sztfínát vagy ólom-azid: mindkettő mechanikai ütés hatására robbanó vegyület, ezek indítják be a robbanási folyamatot;
- bárium-nitrát: oxidálószerként alkalmazzák, a folyamat során leadja oxigéntartalmát;
- antimon-szulfid: szabályozza (rendszerint megnyújtja) a robbanás idejét.

A felsoroltakon kívül még számos más, különböző célokat szolgáló anyagokat szoktak a gyúeleggébe keverni: szerves kötőanyagokat (például gumik, keményítők) alkalmaznak az elegy egyben tartására, az olyan robbanóanyagok pedig, mint például a TNT, extra adag hőt és energiát biztosítanak a folyamatához. Nem ritka, hogy őrölt üveg is kerül bele, ami javítja a többi összetevő szemcséinek egymáson sűrűlódását, ezzel is növelve a reakció hatásfokát.

Nem is gondolnánk, milyen hatalmas energiák szabadulnak fel ilyen hihetetlenül kis mennyiségű anyagok robbanásakor. Amikor az ütőszeg ráüt a csappantyúra, a hőmérséklet kevesebb mint egy ezred másodperc alatt több ezer Celsius-fokra emelkedik, a nyomás pedig a légköri nyomásnak megfelelő érték több ezerszeresére nő. Ezek a körülmények már arra is alkalmasak, hogy elforralják az elegy ólom-, bárium- és antimontartalmú vegyületeit. Mivel a környezetbe kijutó részecskék keletkezése eme extrém hőmérséklet- és nyomásértékekről való hirtelen lehűlés útján, nem egyenletes körülmények között történik, így jelentős mértékű az inhomogenitásuk. Ezen azt értjük, hogy az egyes kémiai elemek más koncentrációban lehetnek jelen a szemcsék belsejében, mint a felszínükön. A keletkezés pillanatában a részecskéknek elvileg még szabályos gömb alakjuk kellene hogy legyen, a robbanás egyenlensége miatt, illetve az egymással való ütközések következtében azonban igen változatos alakú összenövéseket alkotva egyesülhetnek, valamint a lehűlés után szét is töredezhetnek a robbanás mechanikai hatásának következtében. Egy klasszikus morfológiájú lömaradványrészecske nagyjából gömb alakú felszínén sok, kisebb, szintén gömb alakú „kinövés” található, ezekben az apró gombócokban általában az ólom szokott dúsulni (1., 2. számú ábra).

A szemcsék átmérője tipikusan egy- és harmincezred milliméter között mozog, a lövő kézre visszaszóródóké pedig általában ötezred milliméter alatti. De vajon mikor tekinthetünk egy mikroméretű részecskét a gyúeleggégés-

1. számú ábra

2. számú ábra

maradványának? A kérdésre a választ egy kiváló cseh tanulmány* és az eddig felhalmozott szakértői tapasztalatok adják meg.

Ha egy szemcsén belül egyszerre mutatható ki az ólom (Pb), a bárium (Ba) és az antimon (Sb) jelenléte (3. számú ábra), az a tudomány mai állása szerint nem keletkezhett másképp, csak és kizárólag tűzfegyver elsütésekor. Természetesen ezek frakciói (ólom és bárium vagy csak ólom, illetve az egyéb összetevők elemei) is megjelennek a szemcsék között.

* Ivana Turková: GSR particles – possibility of their casual occurrence in the Czech environment, ENFSI Conference, Piešťany, 2009

3. számú ábra

A jellegzetes elemek karakterisztikus röntgensúcsai az energiadisziperzív spektrumban

A lőmaradványok korszerű vizsgálati módszere

A lőmaradványok nemzetközileg elfogadott analitikai eszköze a pásztázó elektronmikroszkóppal egybekötött röntgenspektroszkóp (SEM-EDX). A vizsgálat lényege, hogy a nagy vákuumba helyezett mintahordozó felületét egy erősen fókuszált, nagyon vékony elektronnyalábbal végigpásztázzuk. A felületbe csapódó elektronok hatására a mintából különböző energiájú elektronok, illetve röntgensugarak lépnek ki, amelyeket speciális, külön erre a célra kifejlesztett detektorokkal érzékelünk. Az elektrondetektorok által szolgáltatott jelet a minta felszínének leképezésére lehet felhasználni. A képalkotás meglehetősen bonyolult módon valósul meg. A pásztázott mintaterület minden egyes pontjának megfeleltethető egy-egy pont a képernyőn. Amelyik mintapontról több elektron érkezik a detektorba, ott a képernyő sokkal fényesebb lesz. Értelemszerűen, a sötétebb képernyőpontoknak megfelelő mintapontokból pedig kevesebb elektron jön ki. Így végső soron egy fekete-fehér képet kapunk a felszínről valós időben. A röntgendetektor által érzékelt sugarak energiaeloszlásából a képzett szakember kikövetkeztetheti, hogy azokat mely elemek bocsátották ki, vagyis az úgynevezett röntgenspektrumból meghatározható az anyag összetétele. Ennek a modern, széles körben alkalmazott, ám meglehetősen drága műszeres eljárásnak számos, előnyös tulajdonsága van. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- nem igényel bonyolult, hosszadalmas minta-előkészítést;
- többezerszeres nagyítású, jó minőségű, éles képeket készíthetünk vele.

A legnagyobb érdeme azonban mégis az, hogy egy részecske lokalizálása után lehetőség nyílik az elemi összetételének meghatározására anélkül, hogy az anyag valamilyen károsodást szenvedne. A megfelelő körülmények között tárolt minta bármikor újravizsgálható, az eredmények reprodukálhatók. Sőt, ennél még többre is képes: automatizált lömaradványrészecske-kereső funkció is kialakítható benne. Ehhez egy különleges szoftver szükséges, amely nagyban megkönnyíti a szakértő mindennapos munkáját. Ahhoz, hogy ennek a – sajnos, igen drágán beszerezhető – szoftvernek elfogadjuk a létjogosultságát, elég csak abba belegondolnunk, hogy ha manuálisan, a program segítségével nélkül kellene megkeresnünk ezeket a miniatűr szemcséket, az mintegy 600 (!) üzemórába telne egyetlen mintahordozón. Mindezt a program már négy óra alatt teljesíti, nagymértékben hozzájárulva a tűzfegyverrel elkövetett bűncselekmények mielőbbi felderítéséhez.

Lömaradványok elemi összetételének vizsgálata

Elsődleges célom a különböző gyúelegek égéstermékeit felépítő elemek meghatározásán túl az volt, hogy valamiféle kapcsolatot találjak a részecskék átmérője és összetétele között: van-e szignifikáns különbség a különböző méretű, de ugyanabból a gyúelegyből származó lömaradványszemcsék elemi összetétele között? A vizsgálandó minták elkészítéséhez tíz különböző, .22LR kaliberű löszert használtunk fel, amelyekből előzetesen eltávolítottuk a lövedéket és a lőport. A már korábban említett, szabványos mintahordozót satuba fogtuk, majd kb. tíz–húsz centiméter távolságból, a felületre merőlegesen egy ilyen módosított löszert működtettünk el. A műveletet a Bűnügyi Szakértői és Kutatóintézet fegyvertani szakértői végezték az általuk kifejlesztett, laboratóriumi elsütőszerkezet alkalmazásával. Annak érdekében, hogy az egyes gyúelegek összetevői ne keveredjenek, az elsütőszerkezet csövét minden lövés után alaposan megtisztítottuk. A következő gyúelegyeket vettem górcső alá: PMC TARGET, Sellier Bellot, Sellier Bellot Club, Lapua, Eley, Yellow Jacket, Winchester, Céllövő, Magtech és RWS Sport.

Az elektronmikroszkópos mérések során különböző méretű szemcséket kerestem, amelyeket átmérőjük alapján három csoportba osztottam: egy-két-, kettő-öt-, illetve öt–húszezred milliméter. Egy részecske átmérőjét könnyen meg lehet határozni a képalkotásért felelős szoftver „méretskála” funkciójával. A vizsgálatok végére hatszáz különböző szemcse elemi összetételét is-

mertem meg. Ez már elegendő mennyiségű adat ahhoz, hogy a gyúelegek egészére is helyes következtetéseket vonjak le.

Nézzük meg, milyen eredményeket szolgáltatott a speciális, kísérleti célokra készített minták!

Mindenekelőtt leszögezném, hogy a vizsgált gyúelegek igen változatos elemi összetételűek voltak. Az említett három fémen (ólom, bárium és antimon) kívül számos más elem fordulhat elő kisebb-nagyobb koncentrációban és gyakorisággal az egyes mintákban. Azt, hogy jelen esetben mit értünk gyakoriságon, egy példán keresztül tudnám a legjobban szemléltetni. Vegyük a Céllövő gyúelegg kettő-ötezred milliméteres átmérőjű szemcséit! Ezek közül húszat vizsgáltam meg, közülük tizenötben mutatható ki bárium, tehát itt ez az elem hetvenöt százalékos gyakorisággal fordul elő.

Kezdjük azzal, hogy milyen elemeket sikerült kimutatni a kérdéses gyúelegekben. Az ólom (Pb) szinte minden egyes vizsgált szemcsében nagy koncentrációban fordul elő. Rendszerint közepes gyakorisággal és mennyiségben található meg a bárium (Ba), az antimon (Sb) és a kén (S). Ritkábban és kisebb koncentrációban lehetett kimutatni a következő elemeket: nitrogén (N), nátrium (Na), magnézium (Mg), alumínium (Al), szilícium (Si), kálium (K), kalcium (Ca), vas (Fe), réz (Cu) és cink (Zn). Az előbbiekhöz hozzátartozik még, hogy a szén és az oxigén mindenütt jelen van, hála azoknak a szerves összetevőknek, amelyek jelenleg még azonosíthatatlanok számunkra. Ezen kívül még azt is illik figyelembe venni, hogy maga a mintahordozó is szénapalapú, így könnyedén megeshet, hogy a legkisebb méretű részecskék mérésakor a szénre jellemző energiájú röntgensugarak is beszóródnak a detektorba. Az antimon és a kén együttes előfordulása az antimon-szulfid jelenlétére utal, a báriumé, a nitrogéné és az oxigéné pedig a bárium-nitrátra. Bár utóbbi nitrogéntartalmát szén és oxigén jelenléte mellett nehéz kimutatni, ilyenkor ugyanis a nitrogén röntgenvonala gyengén gerjeszthető, sokszor észre sem lehet venni a spektrumban. A továbbiakban a szén és az oxigén jelenlétével nem foglalkozom, hiszen minden szemcsében ott vannak, és nem annyira jellemzők a gyúelegyre, mint például az ólom. A szilícium, kalcium, kálium, nátrium, magnézium és alumínium nagy valószínűséggel a gyúelegyre kevert örlött üvegből származik. Meg kell jegyezni, hogy az alumíniummal gyakrabban lehet találkozni a GSR-vizsgálatok során; ha nem üvegpépítő elemként jelentkezik, akkor főként a bárium mellett észlelhető a rá jellemző röntgenvonal. A vas nemcsak a fegyver csövének kopadékból származhat (elsősorban rosszul karbantartott, korrodált fegyvercsőből), de számos üvegfajta (általában a zöldes árnyalatúak) is tartalmazza ezt a hétköznapi fémeket. A

sárgaréz a réz és a cink ötvöze, ezért ez a két elem a lőszerhüvely vagy bizonyos típusú lövedékek köpenyének kopadékból ered, hiszen a klasszikus, ólom–bárium–antimon tartalmú gyúelegyekbe nem kevernek sárgaréz vagy rézet. A szakértő azt is el tudja dönteni, hogy melyik szemcse származhat a hüvelyből és melyik a lövedékköpenyből. Utóbbiba csak minimális mennyiségű cinket tesznek ötvözőként, így az elemek koncentrációaránya elárulja a szemcse forrását.

A közelmúltban történt, hogy egy pénzszállító cég alkalmazottja munka közben egy bevásárlóközpont mellékhelyiségében a szolgálati fegyverével fejbe lőtte magát, és a helyszínen meghalt. A helyszínelő hatóság az elhunyt és két kollégájának kezeiről a már korábban ismerttetett letapogatásos módszerrel biztosított anyagmaradványokat. Összehasonlító mintaként érkezett az intézetünkbe a helyszínen megtalált, elműködtetett lőszerhüvely, amelynek belsejében ólom-, bárium-, antimon- és alumíniumtartalmú égésmaradványokat találtunk. A halott férfi kollégáinak kezein tűzfegyver elsütéséhez köthető szemcséket nem tudtunk kimutatni. Az elhunyt kezein a hüvelyben lévő égésmaradványok elemi összetételének megfelelő szemcséken kívül olyan lőmaradványokat is találtunk, amelyek rézet, valamint kis mennyiségben cinket és ónt tartalmaztak. A réz és a cink – jellegzetes koncentrációarányuk alapján – a lövedék rézköpenyének kopadékból származik. De honnan eredhet a részecskék óntartalma? Fontos megemlíteni, hogy léteznek olyan gyúelegyek, amelyekbe a klasszikus, fémes összetevőkön (ólom, bárium, antimon) kívül még ónt is kevernek, valószínűleg ón-szulfid formájában. Az esetek kb. húsz-harminc százalékában találkozunk ilyen, négykomponensű lőmaradványszemcsékkel. Mi történhetett? Nem a beküldött hüvellyel szerelt lőszerrel adták le a lövést? A már ismerttetett, korszerű, analitikai módszer segítségével megállapítottuk, hogy az ón szigorúan a rézzel együtt fordult elő, még a koncentrációjuk is korrelált egymással. Tehát nagyobb réztartalomhoz nagyobb óntartalom párosult. Ebből arra következtethetünk, hogy az ónt a lövedékköpeny anyagába keverték bele ötvözőelemként, ezért nem lehetett kimutatni a lőszerhüvelyben.

Ismerve a gyúelegyek főbb összetevőit, nem meglepő, hogy a részecskék egy jelentős hányadában (mintegy negyvenöt százalékukban) csak ólom; ólom és bárium; vagy ólom, bárium és antimon volt felfedezhető (a mindig jelen lévő szén és oxigén mellett). Gyakran (az esetek nagyjából tizenöt százalékában) találok olyan szemcsékkel, amelyek az ólmon kívül antimon; antimon és kén; báriumot és nátriumot; vagy báriumot és nitrogént tartalmaztak. De ezeken kívül számos olyan részecskét sikerült felkutatni, amelyekben akár öt-hét különböző elem is megbújik. A teljesség igénye nélkül felsorolom néhány különleges szemcse elemösszetételét:

- ólom, bárium, nátrium, magnézium, alumínium, szilícium és kalcium (4. számú ábra);

4. számú ábra

- ólom, bárium, antimon, nitrogén, nátrium és kén;
- ólom, bárium, antimon, nátrium, kén és réz;
- ólom, bárium, antimon, szilícium, alumínium, nátrium és kálium.

Kijelenthető, hogy az elemek atomsúlya (rendszáma) és előfordulási gyakorisága között egyenes arányosság áll fenn, tehát minél nehezebb egy elem (például az ólom), annál gyakrabban mutatható ki a lömaradványszemcsékben. Ez az állítás az összes, vizsgált gyúelegeyre, és azon belül mindhárom tartományban igaznak bizonyult.

Az egyes mérettartományok közti különbséget szemügyre véve megállapítható, hogy a könnyebb elemeket általában csak a nagyobb szemcsékben lehet kimutatni. A nehezebb elemek viszont részecskemérettől függetlenül mindenütt megtalálhatók. Vagyis a nagyobb szemcséket változatosabb elemösszetétel jellemzi, mint kisebb társaikat. Ez feltehetően annak a már említett ténynek is tulajdonítható, hogy a nagyobb szemcsék széttöredeznek a robbanás során, a felszínükből kitüremkedő, kisebb részek leszakadnak, és ezek fognak hátrafelé szóródni. Ha a lövést elég távolról (egy-két méternél is messzebről) adják le, akkor a keletkezett szemcsék nagy része szétszóródik a levegőben, illetve teljesen lefékeződik, mielőtt még elérné a céltárgyat. A minták speciális, kifejezetten erre a célra történő elkészítése tette lehetővé azt, hogy a nagyméretű, sokféle elemet tartalmazó szemcsék is lerakódtak a mintahordozó felületén. Ezekből az egyedi, különleges részecskékből eleve kevesebb keletkezik, ezért egy távolabbi lövés esetén annak az esélye, hogy egyáltalán elérjék a céltárgyat, drasztikusan csökken. Ezzel szemben a klasz-

szikus, háromkomponensű szemcsékből és ezek frakcióiból jóval több jön létre, így ezek céltárgyra lerakódásának valószínűsége is nagyobb.

Egy emberölési ügyben a sértett ruházati tárgyain esetleg meglévő lömaradványok felkutatására rendelték ki fizikus szakértőt. A lövés elszenvedésekor a sértett által viselt mellény elülső felületén mintegy ezerháromszáz, tűzfegyver elsütéséhez köthető részecskét sikerült felkutatnunk. A szemcsék számossága alapján megállapítható, hogy a lövés igen közlelről, fél-méteres távolságon belül érhetette a sértettet. Nézzük meg, hogyan alakult a különböző elem-összetételű lömaradványszemcsék szám szerinti megoszlása:

- 230 db ólom-, bárium-, antimon- és öntartalmú szemcse;
- 52 db ólom, bárium és antimon;
- 80 db bárium és antimon;
- 480 db ólom, antimon és ón;
- 10 db ólom és bárium;
- 422 db ólom (mikrométerű szemcsék).

A kapott eredményekből megállapítható, hogy tíz GSR-szemcséből csak három tartalmaz báriumot. Ebből arra következtethetünk, hogy a gyúeleggbe eleve kevesebb báriumtartalmú vegyületet kevertek. Természetesen így annak a valószínűsége is kisebb lesz, hogy a letapogatott felületen olyan szemcséket találunk, amelyekben ez a fém is megtalálható. Ha a lövést távolabbról (másfél-két méterről) adják le, akkor a mellényre is jóval kevesebb lömaradványszemcse kerül, és jó esély van rá, hogy csak olyan GSR-szemcsék rakódnak le a felületre, amelyekben nincs bárium.

Figyelemre méltó, hogy a tíz különböző gyúelegg között három olyan is akadt, amelyben az antimon jelenléte még nyomnyi mennyiségben sem volt kimutatható. Mivel egy adott mintán belül viszonylag sok (több tucat) szemcsét vizsgáltam meg, nyugodtan kijelenthetjük, hogy ezekbe a gyúelegyekbe nem kevertek antimon-szulfidot vagy más, antimontartalmú vegyületet.

Egy öngyilkossági ügyben az elhunyt kezeiről szakszerűen levett anyagmaradványok között több mint ezer ólom-, bárium-, kálium- és szilíciumtartalmú, illetve mintegy háromezer-hatszáz ólom- és báriumtartalmú lömaradványrészecskét sikerült kimutatni. Ezeken kívül még mintegy harmincezer mikrométerű ólomszemcsét, valamint kb. ezerötszáz, lövedékköpenyből származó kopadékszemcsét is találtunk a kérdéses mintahordozókon. Látható, hogy bár rengeteg, tűzfegyver elsütéséhez köthető részecskéről van szó, ezek egyikében sem sikerült antimont kimutatni. Ebben az esetben szinte teljes bizonyossággal kijelenthető, hogy az elhunyt által használt lőszer gyúeleggében nem alkalmaztak antimontartalmú vegyületet.

Az előbbi eredménynek azért van jelentősége, mert például az Amerikai Egyesült Államokban az igazságügyi szakértők általában akkor minősítenek egy szemcsét lövésből származó részecskének, ha kimutatható benne az

ólom, a bárium és az antimon is. Látható, hogy ez a feltételezés könnyen vezethet fals negatív eredményekhez, ami adott esetben akár a társadalomra nézve is veszélyes következményekkel járhat.

Egy régi-új vizsgálati módszer: a Raman-spektroszkópia

A pásztázó elektronmikroszkóphoz csatolt röntgenspektroszkópiát csak a jellegzetes elemek (főként a fémek) jelenlétének kimutatására alkalmazzák. A módszer a kémiai kötésekre érzéketlen, ez a működési elvéből is következik. A gyúelegyek azonban számos szerves és szervetlen vegyületet is tartalmaznak, amelyeknek jelenleg még nincs kidolgozott kriminalisztikai vizsgálati módszere. A probléma megoldásához először is keresnünk kell egy olyan technikát, amellyel a szemcséket felépítő molekulákat is lehet azonosítani, de magában foglalja a következő (az elektronmikroszkópnál már megszokott) előnyöket:

- roncsolásmentes;
- nem igényel bonyolult minta-előkészítést;
- kiváló felbontóképességű.

További előny lehet, ha ez az „új” módszer költségkímélőbb, mint a pásztázó elektronmikroszkóp. Az egyetlen elérhető technika, amely megfelelhet ezeknek a követelményeknek, a Raman-spektroszkópia.

Ismerkedjünk meg kicsit részletesebben ezzel a kriminalisztika számos más területén már régóta kiválóan teljesítő analitikai módszerrel! A pásztázó elektronmikroszkóphoz képest az egyik legnagyobb előnye, hogy nem szükséges a mintákat nagy vákuumba helyezni, azokat normál légköri nyomáson és szobahőmérsékleten vizsgálhatjuk. A Raman-spektroszkópban a minta felületét lézerrel (egy nagyon erős, szigorúan egyszínű fénysugárral) világítjuk meg. Ennek hatására a fény egy igen kis része megváltozott frekvenciával verődik vissza, ezt nevezzük Raman-szórásnak. Ez a frekvenciaváltozás (és annak eloszlása, az úgynevezett Raman-spektrum) jellemző a vizsgált anyagra, így ennek detektálásával megtudhatjuk, milyen vegyületekből épül fel és milyen rácsban kristályosodott a mintánk. Jelen esetben az anyag „válasza” csekély mértékű, ezért egy korszerű Raman-spektroszkópnak nagyon érzékenynek kell lennie. Az intézetben található műszerbe három különböző színű (ezáltal különböző energiájú) lézert építettek be a minták gerjesztéséhez. A

mindhárom térbeli irányban mozgatható mintaasztal fölött egy egyszerű optikai mikroszkóp helyezkedik el, amelynek segítségével megfigyelhetjük a mintát, illetve annak tetszőleges pontjaira (lőmaradványok esetén egy-egy szemcsére) irányíthatjuk a lézernyalábot.

Most, hogy kiválasztottuk az alkalmazni kívánt módszert, megfogalmazhatjuk a mérések célját, illetve azokat a kérdéseket, amelyekre választ keresünk. Először is azt szeretnénk eldönteni, hogy a Raman-technika egyáltalán alkalmas-e a lőmaradványszemcsék kriminalisztikai vizsgálatára. Hiába a sok-sok előnyös tulajdonság, ha egy adott analitikai módszert először alkalmazunk egy bizonyos anyag típusra, adódhatnak nem várt nehézségek. A legfontosabb feladatomban pedig az volt, hogy felkutassam azokat az esetleg meglévő, jellegzetes vegyületeket, amelyek tűzfegyver elsütéséhez köthetők. Ha a kutatómunka pozitív eredménnyel zárul, a későbbiekben erre alapozva kifejleszthető egy rutinszerűen alkalmazható módszer, amely adott esetben akár helyettesítheti is a klasszikus GSR-vizsgálatot.

Lőmaradványok molekuláris összetételének vizsgálata és a közben adódó nehézségek

A minták elkészítése ebben az esetben is hasonlóan zajlott, mint a pásztázó elektronmikroszkópos méréseknél. Egy mintahordozót satuba fogtunk, majd az intézet fegyvertani szakértője igen közelről, nagyjából húsz-harminc centiméter távolságból a szénelapú felület síkjára merőlegesen olyan módosított löszert működtetett el, amelyből már előzetesen eltávolítottuk a lövedéket és a löport. A következőkben felsorolt, öt különböző löszert használtuk fel:

- magyar gyártmányú, .16-os kaliberű, sörétespuska-löszert;
- Winchester fejlesztésű, Remington gyártmányú, .243-as kaliberű golyós-puska-löszert;
- Remington gyártmányú, .45-ös kaliberű ACP-pisztolylöszert;
- MFS BM 10 fenékjelzésű, 9 mm-es Luger-löszert;
- TPZ fenékjelzésű, orosz gyártmányú, $7,62 \times 39$ mm-es löszert.

A mérések megkezdése előtt, a Raman-spektrumok kiértékeléséhez be kellett szereznem egy minél több ismert anyag spektrumát tartalmazó könyvtárat, nevezhetjük adatbázisnak is. Erre azért van szükség, mert a röntgenspektroszkópiával ellentétben, itt az anyagok azonosítása a kapott spektrumuk összehasonlításán alapszik. Ha például egy ismeretlen (de homogén) anyag és a

bárium-nitrát Raman-spektruma megegyezik, akkor biztosan állíthatjuk, hogy a kérdéses anyag ebből a vegyületből áll. Intézetünk Raman-berendezéséhez, az igényekhez alkalmazkodva, más jellegű spektrumkönyvtárakat (festékek, textilek, műanyagok stb.) szereztek be, ezeket azonban az eredmények kiértékelésekor nem tudtam hasznosítani, hiszen ilyen anyagok nem fordulnak elő a gyűjelekben. Tudomásom szerint az ENFSI (European Network of Forensic Science Institutes; Bűnügyi Szakértői Intézetek Európai Hálózata) lőmaradványokkal foglalkozó szakembereinek, de még a hazai egyetemeknek és kutatóintézeteknek sincs megfelelő adatbázisuk, ezért elkerülhetetlenné vált egy gyűjtött anyagokból álló, saját készítésű spektrumkönyvtár létrehozása. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem szervetlen kémia tanszékéről, illetve a Bűnügyi Szakértői Kutatóintézet szerves kémiai analitikai osztályáról mintegy száz különböző anyagmintát sikerült összegyűjtenem, ezeket egy-egy mintahordozóra preparáltam fel, majd rögzítettem a Raman-spektrumukat. A beszerzett anyagok a gyűjelekben előforduló fémek különböző vegyületei, vannak közöttük nitrátok, szulfátok, nitritek, oxidok, karbonátok, kloridok, foszfátok, acetátok stb.

A kutatómunka folyamán számos nehézséggel kellett szembenéznem. A felvetődő problémák megértéséhez néhány szót kell szólnom arról, hogy egy mérés alkalmával mi zajlik le az anyagban. Amikor a mintát lézerrel besugározzuk, a beeső fény intenzitásának csupán az egymilliomod része jelenik meg Raman-szórásként. De mi lesz a többi részével? Sajnos, a fény legnagyobb része hő formájában elnyelődik az anyag belsejében. Ezen kívül fontos még megemlíteni, hogy bizonyos típusú anyagoknál lejátszódhat egy olyan fizikai jelenség, amelynek során az elnyelt fény egy része nem hővé alakul át, hanem azt hihetetlenül rövid időn belül kisugározza. Ez a fényki-bocsátás olyan széles hullámhossztartományban és nagy intenzitással megy végbe, hogy akár teljesen elfedheti a Raman-spektrumot. A jelenség neve: fluoreszcencia. A vizsgálandó lőmaradványrészekcskék jelentős hányada is ilyen fluoreszcens tulajdonsággal bír, nagyban megnehezítve ezzel a mérések sikeres kivitelezését. Természetesen mindhárom beépített lézerrel végeztem próbaméréseket, hogy eldöntsem, melyiket lenne érdemes alkalmazni a gyűjelek analizálásához. Szerencsétlen módon csak a legnagyobb energiájú, zöld színt adó lézerrel sikerült megfelelő spektrumokat rögzíteni. Ez a fényforrás azonban a kisebb szemcséket egyszerűen elégeti, ezzel ellehetetlenítve a mérést. A vizsgált gyűjelek égéstermékeiről mégis százhetven kiértékelhető spektrumot sikerült rögzíteni, ami az előbbieken tárgyalt, igen súlyos problémák tükrében kisebb csodának számít.

Az azonosított anyagok tulajdonságai

A fizikus szakértő által végzett GSR-vizsgálatok fő célja olyan anyagok felkutatása az erre rendszeresített mintahordozókon, amik csak és kizárólag lőfegyver működtetésekor keletkeznek. Ezért nagyon fontos annak ismerete, hogy az eredmények kiértékelése során azonosított anyagok rákerülhetnek-e egy ember kezére hétköznapi tevékenység folyamán, más forrásokból, illetve hogy ezeknek az anyagoknak milyen tulajdonságaik vannak (például vízzoldhatók-e, lejönnek-e a bőrről kézmosás közben).

A leggyakrabban előforduló anyag (a vizsgált szemcsék nagyjából harminchat százaléka) valamilyen nitrátsó volt. (A készülék sajnos nem képes olyan jól felbontani a mért spektrumokat, hogy az is megállapítható legyen, melyik fém sójáról van szó.) Ezeket általában műtrágyázásra használják, valamint robbanóanyagokban oxidálószerként is alkalmazzák. Szinte az összes nitrátsó oldható vízben, ami óriási probléma, a tapasztalatok ugyanis azt mutatják, hogy ha a gyanúsított alaposan kezét mos a letapogatási művelet előtt, akkor már nem detektálhatók rajta lőmaradványok, mivel azok a vízzel együtt lemosódnak. A rendelkezésre álló fémek közül leginkább bárium- vagy ólom-nitrát jelenlétére kell számítani a mi esetünkben. Előbbi felhasználása sokrétű: robbanószerekben, bárium-oxid előállításánál, vákuumcsövek gyártásánál, csillagszórókban, illetve a pirotechnikában is használják, mert zöldre színezi a lángot. A gyúelegek eredetileg is tartalmazzák bárium-nitrátot, és biztosak lehetünk benne, hogy a robbanás folyamán hátra marad némi fel nem robbant oxidálószer, ami a lövéskor keletkező füstben is jelen lesz. Az ólom-nitráttal rágcsálóirtókban és fotópapírok bevonatában találkozhatunk. Ha a gyúelegekben lévő ólomtartalmú vegyületek (azid vagy sztifnát) felrobbannak, akkor azokból feltehetően nem nitrátok, hanem oxidok és nitrózus gázok keletkeznek, ezért a bárium-nitrát jelenléte sokkal valószínűbbnek tekinthető.

A részecskék nagyjából tizenöt százaléka valamilyen szulfátot tartalmazott, ezek jelentős többsége szintén vízzoldható, de ez alól kivétel a kalcium-, a stroncium-, az ólom(II)- és a bárium-szulfát. Utóbbit leggyakrabban fehér festékekben pigmentként alkalmazzák, így igen sokszor lehet megtalálni emberi kézen anélkül, hogy az illető egyáltalán fegyverek közelébe került volna, tehát a bárium-szulfát jelenléte még nem igazolja a lövés tényét. Az ólom-szulfát is nagyon gyakori: gépjárművek akkumulátoraiban mindig jelen van, illetve festékekben is alkalmazzák.

Érdekesség, hogy a szulfátokkal együtt mindig ki lehetett mutatni valamilyen szilíciumtartalmú vegyületet is (ami valószínűleg egyfajta szilikát lehe-

tett). Ezekkel az anyagokkal szintén nagyon gyakran lehet találkozni, hiszen a szilícium alapvető alkotóeleme a homoknak és a talajoknak.

Néhány (mindössze négy) szemcse spektruma jó egyezést mutatott a gyúelegyek egy másik fő összetevőjének, az antimon-szulfidnak a spektrumával. Ezt az anyagot – a bárium-nitráthoz hasonlóan – a pirotechnikában, illetve gépjárművek fékbetéteiben használják.

Csupán három olyan szemcsét találtam, amelyek esetében valamilyen ólom-oxid (többféle módosulat ismeretes) jelenléte valószínűsíthető. Az ólom-szulfáthoz hasonlóan ezeket is megtalálhatjuk akkumulátorokban, pigmentként festékekben, valamint pirotechnikai termékekben. A jó fénytörő képességű, különleges ólomüvegeket is ólom-oxidok felhasználásával készítenek.

Ezen anyagok közül csak a bárium-nitrát és az antimon-szulfid az, amelyeknek a jelenléte arra utalhat, hogy a gyanúsított tűzfegyvert használt és azok nem más körülmények között kerültek a kezére. A nitrátok (és persze itt csak valószínűsítem, hogy bárium-nitrátról van szó) minden mintában, azon belül is a vizsgált szemcsék legalább ötödében előfordultak, így joggal feltételezhető, hogy ha egy gyúelegyben alkalmazták, akkor annak lövésakor keletkező maradványaiban is megjelenik. Sajnos az antimon-szulfidról ez már nem mondható el, csak három gyúelegyben és mintánként is csak egy-két esetben lehetett kimutatni, így erre alapozva nem lehet megállapítani, hogy valaki használt-e tűzfegyvert vagy sem. A szemcséknek közel a felét (majd negyvennégy százalékát) nem lehetett azonosítani a meglévő adatok alapján, ehhez jóval nagyobb spektrumkönyvtárra lenne szükség.

A kézen és a ruházaton fellelt anyagmaradványok adott esetben felfedhetik a vizsgált személy foglalkozását, hobbiját, a hétköznapiakban végzett tevékenységeiről hordoznak információt. Néhány évvel ezelőtt egy férfi vásárlást színlelt egy fővárosi üzletben, majd elkezdte bántalmazni az eladót, és egy fegyvernek látszó tárggyal megfenyegette. Végül a kasszában lévő pénzzel együtt elmenekült a helyszínről. Sajnos csak fél évvel később találtak egy a bűncselekménnyel gyanúsítható személyt, akinek több ruházati tárgyát lefoglalták, amelyek felszínén jellegzetes lömaradványrészecskéket nem lehetett kimutatni. Viszont több tucat olyan, mikrométerű arany- (Au-) szemcsét sikerült felkutatni rajtuk, amelyek ipari tisztaságú aranyból vagy aranyozott tárgy felületéről származnak. Ilyet használnak például a számítástechnikai iparban is.

A Raman-spektroszkópia szakértői gyakorlatba történő bevezetésének korlátai

Már említettem, hogy az esetek többségében csak a legkisebb (néhány ezred milliméteres) lömaradványszemcsék szóródnak vissza a lövő kézre, amiket az

alkalmazott zöld lézer jó eséllyel egy pillanat alatt megsemmisít. Bár az intézet Raman-készülékébe két kisebb energiájú (vörös és infravörös fényt kibocsátó) lézert is beépítettek, amelyek kevésbé roncsolják az apró részecskéket, ezekkel azonban egy esetben sem lehetett megfelelő minőségű, kiértékelhető spektrumot rögzíteni. Ezek alapján megállapítható, hogy a jelenleg rendelkezésre álló Raman-spektroszkóppal csak nagy szemcséket lehet érdemben vizsgálni, ez pedig jelentősen megnehezíti az eljárás rutinszerűvé tételét.

Sokszor előfordult, hogy ha mérés közben az ideális beállítások eléréséhez változtatnom kellett a paramétereken, akkor ennek hatására ugyanazon szemcse esetén is jelentős mértékben megváltozott a spektrum alakja. Ez a bosszantó jelenség arra enged következtetni, hogy feltehetően a lézer roncsoló hatására, mérés közben megváltozott az adott szemcse összetétele. Márpedig a kriminalisztikai vizsgálatoknak alapvető feltétele, hogy – ha lehetséges – a mérések reprodukálhatók legyenek (vagyis bármikor újra elvégezve az analízist, mindig ugyanazt az eredményt kell kapnunk), itt viszont ez nem minden esetben teljesült.

Komoly problémát jelent az a tény is, miszerint az azonosított anyagok nagy részével a hétköznapi életben is gyakran kapcsolatba kerülhetünk, nem csak lövéskor. Egyedül a bárium-nitrát az a vegyület, amely minden mintában többször is előfordult, és szinte kizárólag csak robbanószerekkel, illetve tűzfegyverekkel való kontaktus során juthat a bőrünkre. Bár jelen kutatás nem terjedt ki arra, hogy egy tűzfegyvert használó személy kezét letapogatva azon milyen egyéb anyagokat lehet kimutatni, de ha valakin bárium-nitrát jelenlétét sikerül igazolni, az adott esetben előrébb viheti a nyomozást.

További nehézség, hogy az esetek döntő többségében csupán néhány apró szemcsét lehet találni az egész mintahordozón, ezeket pedig egy optikai mikroszkóppal felszerelt Raman-készülékkel szinte lehetetlen megtalálni.

Vidéken történt az az eset, amelyben egy szolgálaton kívüli rendőr közlekedési balesetet szenvedett a saját gépkocsijával, a segítségnyújtást visszautasította, majd fejbe lőtte magát. A fegyver csőtorkolatából biztosított égésmaradványok ólom-, bárium-, antimon- és alumíniumtartalmú részecskék voltak. Az elhunyt jobb kezén mindössze egy-egy ólom-, bárium- és alumínium-, illetve bárium- és alumíniumtartalmú részecske volt fellelhető. Egy jól tömítő, súlyzáras maroklőfegyver használatakor nem meglepő, hogy ilyen kevés lőmaradvány kerül ki a környezetbe, ezek megtalálása pásztázó elektronmikroszkópiát és automatikus lőmaradványkereső szoftvert nélkülöző módszerrel ma még elképzelhetetlen.

Egy másik ügyben egy férfi sertésölő taglóval követett el öngyilkosságot. A jobb kezén csupán egyetlen ólom-, bárium- és óntartalmú részecskét találtunk, antimont nem lehetett benne kimutatni.

Az iménti esetekben említett szemcsék nagy valószínűséggel tűzfegyverrel leadott lövés-kor keletkeztek, a folyamat statisztikus jellege miatt azonban könnyen elképzelhető, hogy klasszikus, három- (vagy adott esetben négy-) komponensű szemcse egyáltalán nem rakódik le a kérdéses felületre. Ilyenkor általában a jellegzetes lömaradványszemcséknek csak a kevesebb elemet tartalmazó frakcióit lehet megtalálni. Az ügyben eljáró szakértőnek erre is tekintettel kell lennie a szakvéleménye kialakításánál.

A pásztázó elektronmikroszkópot egy speciális üzemmódban használva, az automatikus lömaradvány-kereső szoftver végigpásztázza a mintahordozó felületét, és azokon a pontokon, ahol egy adott, előre beállított érték fölé emelkedik az intenzitás, röntgenspektrumot vesz fel. Egy Raman-spektroszkóp esetén nem definiálható ilyen egyértelmű kritérium, amely alapján kerestetni lehetne a szemcsék között. A két műszer eltérő működési elvéből következik, hogy a részecskék teljesen másképp néznek ki az egyik mikroszkópban, mint a másikban. A Raman-berendezés mikroszkópjában a fényes, fehér és a fekete színűnek látszó részecskék is lehetnek lömaradványok, amelyeknek még a méretük és az alakjuk is nagyon eltérő az egyes esetekben. Be kell látnunk, hogy a fényesség vagy a morfológia alapján nem lehet eredményesen kerestetni a szemcsék között.

A nyugtalanító eredmények ellenére egy nagyobb spektrumkönyvtár birtokában érdemes lenne újra kiértékelni a felvett spektrumokat, és megkísérelni az ismeretlen anyagok azonosítását. További hasznos információkat lehetne szerezni, ha több különböző gyártmányú lőszer gyűjteményét is ugyanezzel a módszerrel megvizsgálánk. A tárgyalt problémák miatt azonban a jelenlegi optikai mikroszkópos Raman-technika nem alkalmas arra, hogy rutinszerű GSR-vizsgálatokat végezzünk vele. A kereskedelmi forgalomban számos olyan komplex berendezés kapható, amelyben egy Raman-spektroszkópot összeépítenek például egy pásztázó elektronmikroszkóppal. Kétségtelen, hogy ez a képalkotó eszköz, amely önmagában is igen drága, alkalmas lenne előszűrőnek a Raman-technika számára. Ekkor azonban a jól bevált röntgenspektroszkóp egyszerűbben alkalmazható, és a Raman-spektrum felvételével általában nem jutnánk sokkal több információhoz, sőt a technika mai szintjén még a roncsolásmentességet sem tudnánk szavatolni.

Ha a Raman-spektroszkópia jövőbeni fejlesztésének keretében olyan lézerforrások alkalmazása válik lehetővé, amelyek nem vagy csak kismértékben roncsolják a szemcséket, és kiértékelhető spektrumokat lehet velük rögzíteni, akkor mindenképpen célszerű lenne ezeket a vizsgálatokat újragondolni, illetve megismételni. Az intézetben rendelkezésre álló Raman-készülék spektrumkönyvtárainak jelentős bővítése esetén még több, hasznos

információt szerezhethetnénk a lőmaradványok összetételéről. Kriminálisztikai célként kitűzhető, hogy a nem túl távoli jövőben a pásztázó elektronmikroszkópia és a Raman-spektroszkópia kombinált alkalmazásával egyes bűncselekmények kapcsán olyan természettudományos eredményeket tudjunk felmutatni, amelyek a mainál nagyobb bizonyító erővel bírnak.