

Mentolai Sebastian<sup>1</sup> 

# Robbanóanyag-analitikai vizsgálati módszerek alkalmazása a robbanóanyagokkal elkövetett bűncselekmények felderítésében

## The Use of Explosives Analysis Methods in the Detection of Crimes Committed with Explosives

*Cikkem tárgyát a robbanóanyagok analitikai vizsgálata képezi. A kérdés – amelyre írásomban választ keresek –, hogy milyen módszerekkel lehet a legpontosabban detektálni/analizálni robbanóanyagokat. Az utóbbi évtizedekben a tudomány gyors fejlődésével és a terrorcselekmények elkövetésének növekvő számával már rendelkezésre állnak olyan modern, nagy hatékonyságú módszerek és eljárások, amelyekkel a robbanóanyagból nyert minta alapján azonosításuk megoldhatóvá válik. Továbbá olyan analitikai vizsgálati módszereket kívánok bemutatni, amelyekkel a robbanóanyaggal érintkezett felületeken, a robbanóanyagnyomok azonosítása, a rejtett robbanóanyagok jelenléte kimutatható. Ma már teljesen hétköznapi eljárásnak számít az olyan mérőberendezések használata a szerves vegyületek azonosítása terén, mint a kromatográfia. Az ilyen mérőberendezéseket kémiai vegyületek elválasztására fejlesztették ki, de egy vizsgálható komponensre specifikus detektálási rendszerrel kiegészítve hatékony azonosítási módszer jöhet létre velük.*

**Kulcsszavak:** robbanóanyagok felderítése/detektálása, robbanóanyagok analitikai vizsgálatainak módszerei, eszközei, spektrométer, kromatográfia

*The subject of my article is the analytical examination of explosives. The question – which I am trying to answer in my article – is what the most accurate methods are to detect/analyse explosives. Over the last decades, with the rapid development of science and the increasing*

---

<sup>1</sup> Robbantástechnikai szakember, vegyész, e-mail: [sebastianmentolai@protonmail.com](mailto:sebastianmentolai@protonmail.com)

*number of terrorist attacks, modern, highly efficient methods and procedures are now available to identify them from a sample of explosive material. Furthermore, I want to introduce analytical testing methods which can be used to identify traces of explosives on surfaces that have come into contact with explosives and to detect the presence of hidden explosives. Today, the use of analytical techniques such as chromatography to identify organic compounds is considered a routine procedure. Such measuring instruments were basically developed for the separation of chemical compounds, but when combined with a detection system specific to the component being analysed, they can serve as an effective method of identification.*

**Keywords:** *explosives detection, methods and instruments for analytical testing of explosives, spectrometer, chromatography*

## Bevezetés

A robbanóanyaggal elkövetett bűncselekmények, különösen a robbantásos merényletek, a modern terrorizmus gyakori eszközei közé tartoznak. A robbanóanyagok könnyű hozzáférhetősége és nagy pusztító ereje miatt a terroristák gyakran választják ezt az eszközt, mivel képesek vele jelentős anyagi károkat okozni és félelmet kelteni a társadalomban. A robbantásos merényletek különösen hatékonyak lehetnek, ezekkel nagyobb tömegeket tudnak célba venni, és a médián keresztül világszerte félelmet generálhatnak. Ezek az „akciók” gyakran szimbolikusak, mivel sok esetben politikai vagy társadalmi jelentőségű helyeket, személyeket céloznak. A terroristák gyakran rejtett robbanóeszközöket (improvizált robbanószerkezet, IED) használnak, amelyek civil környezetben különösen hatékonyak.<sup>2</sup> A modern terrorizmus fő céljai közé sorolható a társadalmi rend destabilizálása, politikai követelések kikényszerítése és a kormányzati rendszerek megbénítása. A robbantásos merényletek hirtelen és szélsőséges módon demonstrálják az elkövetők erejét és hatalmát. A politikai motivációjú terrorizmus esetében a robbanóanyagok alkalmazása gyakran arra irányul, hogy félelmet keltsen a lakosságban és nyomást gyakoroljon a politikai vezetőkre. Az elmúlt évtizedekben a robbantásos merényletek számos országban váltak a terrorizmus fő módszereivé, legyen szó akár Közel-Keletről, Európáról vagy Észak-Amerikáról. A nemzetközi terrorszervezetek, mint az al-Káida vagy az Iszlám Állam, rendszeresen alkalmazzák ezt a módszert. Az ilyen jellegű támadások globális mérete és hatása miatt a nemzetközi közösségek és a kormányok számára komoly kihívást jelent a megelőzésük és elhárításuk. A robbanóanyagokkal elkövetett merényletek súlyos következményekkel járnak a társadalomra nézve. Nemcsak az emberi életeket veszélyeztetik, hanem a közbiztonságba vetett bizalmat is aláássák. A gyakori merényletek destabilizálhatják a közrendet, gazdasági visszaesést idézhetnek elő, és növelhetik a társadalmi feszültségeket. A robbantások pszichológiai hatása is rendkívül erős, a támadások kiszámíthatatlansága állandó félelemben tartja a lakosságot.<sup>3</sup>

Nemcsak a terrorizmus, hanem a szervezett bűnözés is egyre gyakrabban alkalmaz robbanóanyagokat céljai elérése érdekében. Az alvilági csoportok számára a robbantásos

<sup>2</sup> KOVÁCS 2012; DARUKA 2012: 33.

<sup>3</sup> DARUKA 2013a; DARUKA 2013b.

merényletek hatékony módszert kínálnak rivális szervezetek vagy állami hatóságok megfélemlítésére. A robbanószerek használata ezekben a körökben a gazdasági érdekek védelmére, illetve az illegális üzletek, például a kábítószer-kereskedelem és az embercsempészet biztosítására szolgálhat. Ezzel a módszerrel erőteljes üzenetet küldenek, hogy képesek akár szélsőségesen erőszakos eszközökkel is megvédeni pozícióikat.

A robbantásos merényletek elleni küzdelem egyik kulcsa a nemzetközi együttműködés. A robbanóanyagokkal kapcsolatos bűncselekmények megelőzése és felderítése érdekében a kormányok és nemzetközi szervezetek különféle jogi, technológiai és hírszerzési eszközöket alkalmaznak. A határvédelem erősítése, a robbanóanyagok nyomon követése és a terrorista hálózatok felderítése mind fontos lépések ebben a harcban. A hatóságoknak nehézséget okoz az ilyen típusú támadások megelőzése, mivel a robbanóanyagok előállításához és felhasználásához szükséges anyagok és technológiák viszonylag könnyen beszerezhetők. A robbantásos bűncselekmények számának növekedése újfajta kihívások elé állította a bűnüldöző szerveket, akiknek gyorsan és hatékonyan kell reagálniuk a fenyegetésekre. Az ilyen bűncselekmények felderítése gyakran bonyolult és technikailag összetett, mivel a robbanószerek használatával elkövetett bűncselekmények után maradt robbanóanyagnyomok aprók (még mérőműszerekkel is igen nehezen detektálhatók), könnyen eltűnhetnek, vagy nehezen értelmezhetők. A bűnüldöző szerveknek ezért egyre inkább szükségük van a legmodernebb technológiákra, például robbanóanyag-analitikai módszerekre, hogy pontosan azonosítani tudják a felhasznált anyagokat, a robbanás mechanizmusát, és összekapcsolhassák azokat bűnözői csoportokkal vagy korábbi bűncselekményekkel. A robbantásos merényletek megelőzéséhez szigorú jogszabályok és kontrollmechanizmusok szükségesek a robbanóanyagok gyártása, tárolása és szállítása terén. Az illegális robbanóanyag-kereskedelem elleni fellépés, valamint a lehetséges terrorista vagy bűnözői csoportok megfigyelése kulcsfontosságú a megelőző intézkedések sikeressége szempontjából. Számos nemzetközi fórum, köztük az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ), a Nemzetközi Bünyügyi Rendőrség Szervezete (Interpol) és az Európai Unió (EU) is kiemelt figyelmet fordít a robbantásos merényletek elleni küzdelemre, különösen a terrorizmus és a szervezett bűnözés visszaszorításával kapcsolatban. Egyezményeik támogatják a közös hírszerzési és bűnüldözési együttműködést, valamint ösztönzik a robbanóanyagokkal kapcsolatos jogszabályok harmonizálását. Az ilyen együttműködések során megosztott információk és technológiák segítenek abban, hogy a bűnüldöző szervek gyorsabban és hatékonyabban reagáljanak a robbantásos fenyegetésekre. Ezek a bűncselekmények nagyon súlyos büntetőjogi következményekkel járnak, mivel veszélyeztetik a közbiztonságot, az emberéleteket, és jelentős anyagi károkat okozhatnak. Magyarországon a Büntető törvénykönyv (Btk.) részletesen szabályozza a robbanóanyagokkal kapcsolatos bűncselekmények büntetését, ami magában foglalhatja a hosszú távú börtönbüntetést, valamint a robbanóanyagokkal kapcsolatos eszközök elkobzását. Az ilyen bűncselekmények felderítése és megelőzése érdekében a hatóságok figyelmet fordítanak a robbanóanyagok előállításához szükséges alapanyagok ellenőrzésére, és szigorúan felügyelik azok beszerzését és felhasználását. Az igazságügyi szakértők, mint például tűzszerészek vagy vegyészek, munkája kulcsfontosságú a bűncselekmények kivizsgálásában. Ők a helyszínen talált bizonyítékokat és nyomokat elemzik annak érdekében, hogy rekonstruálják az elkövetés eszközét és módját. Például egy robbanószerkezet esetén a tűzszerész szakértő elemzi a szerkezet alkatrészeit, a felhasznált anyagokat (például elektronikus vezérlőmechanizmus) és a robbanás körülményeit.

Robbanóanyagokkal kapcsolatos ügyekben az igazságügyi vegyész szakértő feladatai különösen fontosak, mivel ezek az anyagok speciális kezelést és elemzést igényelnek. Ilyen esetekben a szakértő feladatai az alábbiakra terjedhetnek ki:

- robbanóanyagok azonosítása – a helyszínen vagy a bűncselekménnyel kapcsolatosan talált robbanóanyagok (például dinamit, TNT,<sup>4</sup> ANDO<sup>5</sup>) típusának meghatározása, valamint összetételük vizsgálata;
- szakvélemény készítése – a vegyész szakértő elkészíti szakvéleményét, és szakértőként hallgatják meg a bíróságon, ahol ismerteti a robbanóanyagokkal kapcsolatos megállapításait, hogy segítsen az igazság szolgáltatásában.

A robbanóanyagokra irányuló kémiai vizsgálatok fontosak lehetnek terrorcselekmények, balesetek vagy más bűncselekmények során, amelyek összefüggésbe hozhatók a robbanóanyagokkal. Ma ezt a feladatot – Magyarországon – 1994 óta elsődlegesen a Nemzetbiztonsági Szakszolgálat Szakértői Intézete látja el.

## Robbanóanyagok kémiai csoportosítása analitikai szempontból

A téma feldolgozásához elengedhetetlenül szükséges a különböző tulajdonságú robbanóanyagok osztályozása. Természetesen erre többféle módszertan létezik (halmazállapotuk, összetételük és felhasználási területük alapján), de most számunkra a legfontosabb a kémiai összetételük alapján történő csoportosítás, mert ez az információ határozza meg, hogy milyen vizsgálatot használjunk a kimutatásukra.

Hogy egy robbanóanyag egynemű (alap) vagy összetett (keverék), az csupán azt határozza meg, hogy egy vagy több vegyületből áll. Célszerű az egynemű (alap) robbanóanyagokat szerves és szervetlen vegyületekre felosztani (1. táblázat), már csak abból a szempontból is, hogy a vizsgálatok során melyik analitikai módszert használjuk.

1. táblázat: A robbanóanyagok kémiai összetétel szerinti csoportosítása

| Egynemű (alap) robbanóanyagok |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| Szervetlen vegyületek         | Szerves vegyületek |
| Salétromsav sói               | Nitrovegyületek    |
| Azidok                        | Nitrát-észterek    |
| Fulminátok                    | Nitraminok         |
| Klorátok                      | Peroxidok          |
| Perklorátok                   | Szerves sók        |

Forrás: LAPAT 2002: 16.

<sup>4</sup> Trinitrotoluol.

<sup>5</sup> Ammónium-nitrát és gázolaj keverék.

Fontos megjegyezni, hogy a keverékeken belül is megkülönböztetünk olyan keverékeket, amelyek összetevői önmagukban nem, csak megfelelő módon és mennyiségben elegyítve válnak robbanóképessé. A keverékben fellelhető egyes összetevők csupán a fizikai megjelenésükért – ilyenek például a robbanóanyag formázhatóvá tételéért felelős plaszticizáló anyagok –, más alkotóelemek a robbanási tulajdonságokért felelnek. Ezeknek az adalékanyagoknak az arányai nagyon fontosak egy keverékben, meghatározzák a robbanóanyag munkavégző képességét. Adalékanyagok például a fémporok, amelyek a robbanóanyaghoz adagolva – de csak egy bizonyos mértékig, ugyanis egy határon túl már csökkentik a robbanóanyag hatékonyságát – magasabb robbanási hőmérsékletet biztosítanak, amely megnöveli a keletkező gázok hőmérsékletét és a robbanóanyag romboló hatását.

A fejezetben leírtakból jól látszik, hogy ha robbanóanyag-analízist akarunk végezni, akkor a vegyületeknek igen széles körét kell megvizsgálni, és ezekre megfelelő vizsgálati módszereket kell kidolgozni, valamint alkalmazni. A tudomány fejlődésével már rendelkezésre állnak olyan mérőberendezések, amelyekkel a beazonosítás megoldható.

## Robbanóanyagok detektálásának elvei és módszerei

Az előző fejezetben tárgyalt robbanóanyagok fontosabb robbanási tulajdonságainak jellemzésére és mérésére különleges fizikai és kémiai módszereket fejlesztettek ki. Ezekkel többek között mérhető a detonációsebesség, a robbanási és detonációs nyomások és a hőmérséklet, illetve meghatározhatók az érzékenységi adatok, valamint a brizancia. A különböző robbanóanyagokkal elkövetett bűncselekmények nyomozásakor az analitikai kémia alapvető a robbanóanyagok azonosításában. Az igazságügyi vegyész szakértők különböző módszereket alkalmaznak annak megállapítására, hogy egy adott környezetben található-e robbanóanyag vagy annak bármely összetevője.

A robbanóanyagok analitikai vizsgálati módszerei klasszikus kémiai és műszeres mérési eljárásokat foglalnak magukban, amelyek lehetővé teszik a korábban ismeretlen összetételű anyagok robbanóanyagként való kimutatását, azonosítását és mennyiségi meghatározását.<sup>6</sup>

Amíg a detektálás általában azt jelenti, hogy egy vizsgált anyag a robbanóanyag melyik kémiai csoportjába tartozik (például nitrovegyület), addig az azonosítás a robbanóanyag kémiai szerkezetének a meghatározását jelenti.

A robbanóanyagokkal kapcsolatos bűncselekmények nyomozásában a hatóság munkáját az igazságügyi vegyész szakértő által végzett analitikai mérésekre alapozott szakvélemény támogatja.<sup>7</sup>

Az analitikai vizsgálatok célja a robbanóanyag kimutatása különböző robbantásos eseményeknél, robbanóanyaggal érintkezett felületeken robbanóanyagnyomok azonosítása és rejtett robbanóanyagok (például repülőtéren ellenőrzések során) jelenlétének kimutatása. Az esetek többségében az ismeretlen anyagok kémiai szerkezetének meghatározása általában minőségi (kvalitatív), és csak részben van szükség mennyiségi (kvantitatív) elemzésére.

<sup>6</sup> LAPAT 2002: 24.

<sup>7</sup> LAPAT 2002: 25.

A laboratóriumi gyakorlat során az analitikai kémiában széles körben használt módszereket alkalmaznak, mint például a kromatográfiát és a spektrometriát. Ugyanakkor léteznek olyan speciális berendezések és eljárások, amelyeket kifejezetten robbanóanyagok vizsgálatára fejlesztettek ki. Külön kategóriát alkotnak a nem laboratóriumi környezetben, például repülőtereken, határátkelőhelyeken és terepen használt robbanóanyag-detektorok. Ezek a nagy laboratóriumi műszerek, mint a gázkromatográfok és ionmobilitás-spektrométerek, hordozható, kicsinyített változatai. Az előzőek alapján célszerű a vizsgálati módszereket és eszközöket a laboratóriumi és nem laboratóriumi környezetben való alkalmazásuk szerint áttekinteni.

## Robbanóanyagok laboratóriumi analitikai, vizsgálati módszerei

A kémia analitikában használatos műszerek és eljárások igen tág köre alkalmazható a robbanóanyagok azonosítására.<sup>8</sup>

- klasszikus analitikai módszerek, amelyek színreakciókon alapulnak;
- spektrofotometriás módszerek, ezek közül is az infravörös spektroszkópia (IR), azon belül is a Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR), tömegspektrometria (MS) és ritkább esetben az ultraibolya (UV) és látható (VIS) spektroszkópia, mágneses magrezonancia (NMR) és a lumineszcencia spektroszkópia;
- kromatográfiás módszerek, elsősorban vékonyréteg-kromatográfia (TLC), gázkromatográfia (GC), nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC), ionkromatográfia (IC);
- továbbá a fent említett technológiák összekapcsolása, főként gázkromatográf-tömegspektrometria (GC-MS) és a nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia-tömegspektrometria (HPLC-MS).

Az ismeretlen robbanóanyagok vegyületeinek azonosítása, akárcsak az analitikai kémiában általában, a lehető legszélesebb körű módszerek alkalmazásával nyert kromatogramok és spektrumok standardokkal való összehasonlító elemzésén és értékelésén alapul.<sup>9</sup>

A robbanóanyag-analízis során elsősorban a robbantásos bűncselekmények helyszínén fellelhető, fel nem robbant robbanóanyag-maradványok azonosításának van nagy jelentősége. Ugyanakkor a visszamaradt maradványok nagy nehézségek elé állítják a szakértőket; a vizsgált anyagmennyiségek igen kis koncentrációban vannak jelen, ám jóval nagyobb koncentrációban a szennyező anyagok (például olaj, por stb.). Elengedhetetlen, hogy a laboratóriumi méréseket alapos minta-előkészítési folyamat előzze meg. Ebben a folyamatban mechanikai tisztítási eljárások, valamint oldószeres és szilárd fázisú extrakció (SPE) vagy szilárd fázisú mikroextrakció (SPME) zajlanak.

<sup>8</sup> YINON–ZITRIN 1993.

<sup>9</sup> LAPAT 2002: 26.

## Robbanóanyagok rejtett, külső helyszíni kimutatásának eszközei, módszerei

A külső helyszíneken – vagyis ahol nincs lehetőség laboratóriumi körülmények kialakítására – a robbanóanyagok detektálása fontos, érzékeny, speciális eszközöket igénylő feladat. Egy robbanás bekövetkezésekor a helyszínen el nem robbant robbanóanyagnyomok elhelyezkedése mobil detektorok segítségével felderíthető. Az ilyen detektorok különböző működési elvekkel rendelkeznek. Az egyik ilyen eszköz képes észlelni a levegőben lévő, illetve a tárgyakra vagy személyekre (bőrre, ruházatra) tapadt részecskéket. A működése során a berendezés először felmelegíti a beszívott levegőmintát, majd UV-fény vagy sugárzóanyag segítségével gerjeszti a benne található molekulákat, amelyeket ezután elemeire bont. A kapott spektrumot összehasonlítja a belső adatbázisában tárolt, tiltott anyagok spektrumával. Ezáltal célirányosan összegyűjthetők azok az anyagmaradványok, amelyek elősegíthetik a laboratóriumi vizsgálatok eredményességét és a robbanóanyag kémiai szerkezetének meghatározását. Mára már számos típusú robbanóanyag-detektort fejlesztettek ki, amelyeket olyan területeken alkalmaznak, ahol jelentős esély van terrorcselekmények elkövetésére (például repülőterek, országhatárok, ipari létesítmények, kormányépületek).

A leírtak alapján látszik, hogy a cél a robbanóanyagnak vagy nyomainak detektálása. Működésük alapján két fő típusuk van a detektoroknak: az egyik a robbanóanyag tömegét méri, a másik a robbanóanyagból kipárolgó részecskék detektálásán alapul.

### *Robbanóanyag tömegét érzékelő eszközök és módszerek*

Az ebbe a csoportba tartozó robbanóanyag-detektorok ionizáló (röntgen, gamma, neutron) és nem ionizáló (mikrohullám) sugárzása és a vizsgált anyag atomjai között létrejött kölcsönhatás révén érzékelik a vizsgálandó robbanóanyagot. A törvénytelenül szállított robbanóanyagokat a „felhasználók” a legügyesebb módokon próbálják elrejtteni a hatóságok elől, ezért a sikeres vizsgálatoknak előfeltétele, hogy az elektromágneses sugárzás megfelelő mélységig hatoljon be a vizsgált tárgyba. Az ilyen típusú berendezések két alapvető fizikai jelenség alapján működnek:

- röntgensugárzás elnyelődése (abszorpció);
- a vizsgált vegyületet alkotó atomok (elsősorban nitrogén) atommagjainak és a gamma-sugárzásnak a kölcsönhatása.

Az első csoportba tartozó készülékek nem mások, mint a hagyományos röntgenkészülékek továbbfejlesztett változatai, amelyek azonos időben két- vagy többenergiás röntgensugárzást alkalmaznak. Ezáltal a nagyobb sűrűségű szerves vegyületek – mint például a robbanóanyagok – képe is látható válik, nemcsak a nagy elnyelőképességű fémeké. Azonban az utóbbi években az orvosi gyakorlatban használt komputertomográfiás (CT) berendezések továbbfejlesztett változatai is hatékonyan alkalmazhatók a robbanóanyagok felismerésére.

A második csoportba tartozó készülékek a gamma-sugárzás magrezonancia elnyelődése alapján határozzák meg a nitrogén eloszlását az adott térben, ami akár robbanóanyag jelenlétére is utalhat.

Továbbá, a nem ionizáló sugárzást alkalmazó detektorok kifejlesztésére is nagy figyelmet fordítanak főleg egészségvédelmi okok miatt. Az egyik ilyen detektor a mágneses magrezonancia (NMR) spektrométer, ahol a mérés alapját a mikrohullámok és az atommag kölcsönhatásából adódó mérések adják.

### *A robbanóanyag kipárolgását érzékelő eszközök és módszerek*

Ebbe a csoportba olyan készülékek tartoznak, amelyek a robbanóanyagból kipárolgó, légnemű vagy adott szilárd felületen megkötött részecskék kimutatására alkalmasak. Az ilyen berendezések az alábbi analitikai mérőműszerek módszerein alapszanak:

- gázkromatográfia (GC);
- ionmobilitás-spektrometria (IMS);
- az előző kettőnek az összekapcsolása.

Az ilyen készülékekkel szemben a következők az elvárások:

- az érzékenyséjük nagy legyen (a robbanóanyagok kis koncentrációban vannak jelen);
- gyors, hatékony detektálási idő (rövid idő alatt kell nagy mennyiségű csomagot átvizsgálni);
- szelektív legyen (más anyagok ne zavarják az észlelést).

„A gázkromatográfiás elválasztási folyamat viszonylag hosszú időt vesz igénybe, ezért ezen műszerek tervezésénél a rövid kolonnák, a nagy gázáram és a gyors felfűtési program alkalmazásával igyekeznek csökkenteni ezt az időt. Azonban ez a szelektivitás rovására megy. Ezekben a készülékekben szinte mindig elektronbefogásos detektort (ECD) és kemilumineszcens nitrogénszelektív detektort (CLND) használnak. Az utóbbi jelentős előnye, hogy kizárólag nitrogén tartalmú vegyületek, például a legtöbb robbanóanyag érzékelésére alkalmas, ami nagymértékben növeli a berendezések szelektivitását és érzékenységét.”<sup>10</sup>

A nagy érzékenység ugyanakkor lehet hátrány is, mint például az ionmobilitás-spektrometria elvén működő készülékek esetében. Ilyenkor az történik, hogy a nem robbanóanyag-vegyületeket tévesen robbanóanyagnak érzékeli a műszer (például a kozmetikumok egy részében lévő ámbra), mert a kis méretű áramlási cső nem teszi lehetővé a hatékony elválasztást a robbanóanyag és a hasonló kémiai szerkezettel rendelkező nem robbanóanyag-vegyület között. Ezért ma már az ionmobilitás-spektrométer detektorként szerepel a gázkromatográf után, ami az elválasztásért felelős.

### **Robbanóanyagnyomok kimutatása a helyszínen**

A robbantás utáni anyagmaradványok vizsgálata sokkal nagyobb kihívást jelent, mint a robbanóanyagok közvetlen elemzése. Ennek több oka is van. A robbanás során az eredeti

---

<sup>10</sup> LAPAT 2002: 31.



robbanóanyag „átalakul”, és csak bomlástermékek és nyomnyi mennyiségű eredetben szóródott robbanóanyag marad vissza, amelyeket sokkal nehezebb azonosítani. A helyszínen lévő egyéb anyagok (például építőanyagok, por, fémek) keveredhetnek a robbanóanyag-maradványokkal, ami tovább bonyolítja az elemzést. A nyomnyi mennyiségben jelen lévő robbanóanyag-összetevők megfelelő kivonása és koncentrációja elengedhetetlen a pontos analízishez. A helyszíni szemle és mintavétel különösen fontos, hiszen a bizonyítékok gyorsan megsemmisülhetnek vagy elveszhetnek. Ezért az igazságügyi vegyész szakértőnek nemcsak laboratóriumi, hanem helyszíni tapasztalatokkal is rendelkeznie kell.

### *Az alkalmazott robbanóanyag pusztító hatásának behatárolása*

Egy robbantásos bűncselekmény során az egyik legnehezebb és egyben legfontosabb feladat az alkalmazott robbanóanyag típusának a behatárolása az analitikai vizsgálatok előtt. Ez az információ rendkívül értékes lehet a helyszíni vizsgálatok résztvevői számára, mivel jelentős szerepet játszhat a vizsgálatok irányának meghatározásában, és fontos alapot nyújthat a hatóságok nyomozati munkájához.

Ha a helyszínen nem található szabad szemmel is jól látható robbanóanyag-maradvány vagy egyéb úton felismerhető nyom, akkor az elsődleges behatárolás a robbanás környezetre gyakorolt hatásának figyelembevételével történik. Ezeknek a megfigyeléseknek elsősorban a nyomásváltozást, a hőmérséklet és a fragmentáció által okozott változásokat kell figyelembe vennie. Ebből az információból a robbanóanyag még nem azonosítható, viszont már el lehet dönteni, hogy detonáló vagy detonációra nem képes (például lőpor) robbanóanyagról van-e szó.

A detonációra nem képes robbanóanyagokra a gyors égés a jellemző (deflagráció). Deflagráció során a kémiai reakció frontja a fel nem robbant anyagban a hangsebességnél kisebb sebességgel halad és pulzálva terjed. Az elkövetők a nagyobb robbanóhatás eléréséért az ilyen típusú robbanóanyagokat általában lezárt térben (például csőbomba) alkalmazzák.

A detonációra képes robbanóanyagok során bekövetkezett robbanás jóval „látványosabb” hatásokat produkál. Az anyagban a reakciózóna által gerjesztett ütőhullám hangsebességgel halad. A környezetre jelentős nyomásváltozás hat, amely igen rövid ideig tart, és rendkívül magas értéket képvisel.

### *Robbanóanyag meghatározása helyszíni vizsgálatok során*

Ma már számos lehetőség van arra, hogy a robbantás helyszínén műszeres analitikai vizsgálatokat végezzünk. Rendelkezésre állnak olyan hordozható robbanóanyag-detektorok, amelyeket a robbanóanyagból, illetve a robbanás után a nyomokban visszamaradt maradékból kipárolgó, gőz halmazállapotú vagy szilárd felületen adszorbeált részecskék kimutatására fejlesztettek ki. Az esetek többségében ilyen készülékeket a repülőtereken alkalmaznak, ahol nagyszámú személy és csomag átvizsgálására van szükség rövid idő alatt, de igen jól alkalmazhatók a robbantásos bűncselekmények helyszínein is.

A másik helyszínen is alkalmazható és a robbanóanyag jelenlétét jelezni képes analitikai módszer a színreakciós tesztkészletek hordozható változata (például ELITE termékcsalád).

## A robbanóanyagok analitikai vizsgálatának módszerei, eszközei

A robbanóanyagok elemzése során elkerülhetetlen, hogy a vizsgálati (főleg a helyszíni) minták ne legyenek szennyezettek. A gyakorlatban a mintavételezés során a robbanóanyagok és egyéb szennyezők keverékével kell dolgozni, ezért a komponensek szétválasztása létfontosságú.

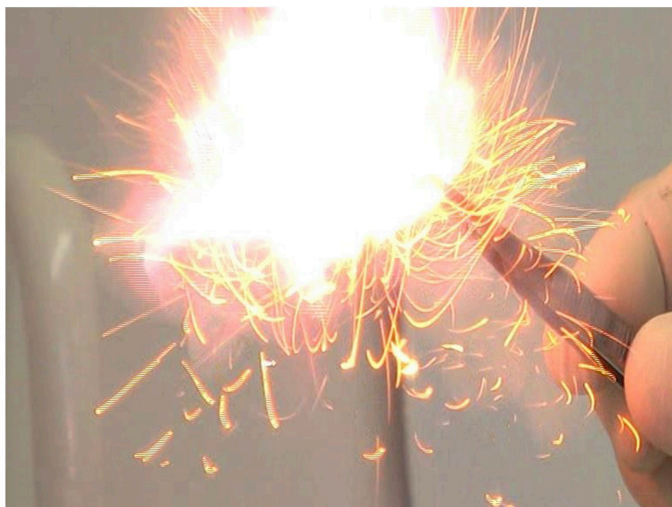
### Minta-előkészítés

A minta-előkészítés különösen fontos a robbantásos merényletek után vizsgált anyagmaradványok feldolgozásában. A szakértői munka során a mintavételezés és a különböző analitikai eljárások, legyen az műszeres vagy nem műszeres, kulcsszerepet játszanak.

A minta-előkészítési eljárások céljai a következők:

- a robbanás helyszínéről összegyűjtött mintákból a lehető legnagyobb mennyiségű fel nem robbant robbanóanyag-maradvány kinyerése, akár a minták anyagából, akár azok felületéről;
- a keletkezett oldat koncentrációja és dúsítása;
- a kinyert robbanóanyag tisztítása.

A tisztítási módokra most nem térek ki, inkább áttérek a robbanóanyagok vizsgálatának eszközeire, módszereire.



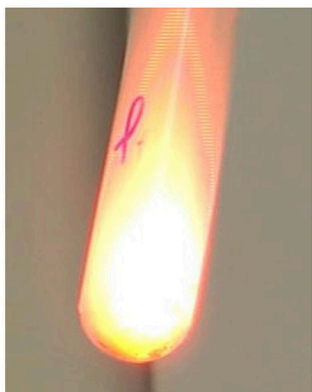
1. ábra: Egy anyag égéspróbája

Forrás: LAKITS 2023: 39.

## Fizikai vizsgálatok

Számos lehetőség áll rendelkezésünkre egy anyag fizikai paramétereinek jellemzésére. Ilyenek például a szín, szag, halmazállapot, kristályszerkezet, éghetőség és oldhatóság vizsgálata. Ha szerencsénk van, és elegendő robbanóanyag-minta áll a rendelkezésünkre, akkor ezeket a fizikai méréseket gyorsan és egyszerűen elvégezhetjük. Ez a megközelítés lehetővé teszi az irreleváns anyagok kiszűrését. Jól példázza ezt az égéspróba: az anyagot lángba tartjuk, és ha nem tapasztalunk rajta látható változást, akkor biztosak lehetünk abban, hogy az nem robbanóanyag vagy pirotechnikai anyag. Az égéspróba során a minta egy kis részét vegyszeres kanálra (vagy spatulára) helyezzük, majd gázlángba tartjuk. Ezzel megállapítjuk, hogy az anyag éghető-e, illetve információt kaphatunk az égésének a sebességéről (lassan, lánggal elég; szikrázva gyors égése következik be; adott esetben a másodperc töredéke alatt ellobban) (1. ábra).

A kémcsőben végzett hevítés szorosan kapcsolódik az égéspróához; nemcsak az anyag éghetőségéről ad tájékoztatást, hanem további hasznos információkat is nyújt számunkra. A vizsgálati módszer során a minta egy kis részét kémcsőbe helyezzük, majd gázláng fölött óvatosan hevíteni kezdjük, miközben figyelemmel kísérjük a változásokat. Tiszta robbanóanyag esetén a minta legjobb esetben is csupán megolvad, majd ellobban (2. ábra).



2. ábra: Elpuffanás kémcsőben

Forrás: LAKITS 2023: 40.



3. ábra: Kén jelenlétének kimutatása hevítéssel

Forrás: LAKITS 2023: 40.

A fokozatos hevítés következtében a feketelőporban található kén gőz halmazállapotban elpárolog, majd a kémcső hűvösebb részén kondenzálódik, ami a kémcső falának elsárgulását eredményezi (3. ábra).

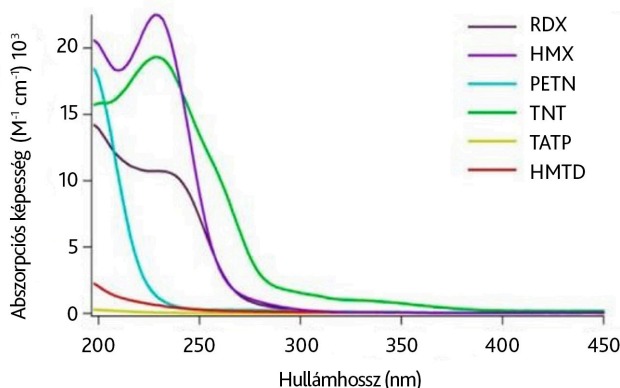
## Kolorimetrikus vizsgálatok

A kolorimetria a kémiai elemzésben alkalmazott szín-összehasonlító eljárás. E módszer célja, hogy azonosítson egy összetett vegyületet vagy vegyületcsoportot. A folyamat lényege, hogy amikor egy adott vegyület vagy vegyületcsoport reagál a megfelelő reagenssel, a keletkező szín

alapján következtethetünk a vegyületre vagy vegyületcsoportra. Ez a technika lehetővé teszi a robbanóanyagok gyors helyszíni észlelését. További előnye, hogy olcsó és könnyen kezelhető. Azonban az egyik legnagyobb hátránya, hogy a robbanóanyagok azonosításának pontossága alacsony. Más szóval, nem lehet elég nagy biztonsággal meghatározni a robbanóanyagokat, más laboratóriumi módszerek alkalmazása is szükséges. A vizsgálat során azt is figyelembe kell venni, hogy a nem robbanóanyagok is képesek ugyanazt a szint produkálni azonos kísérletek során, mint a robbanóanyagok. Viszont kiválóan alkalmas előszűrésre a műszeres vizsgálatok előtt.

## Spektroszkópai vizsgálatok

Az elektromágneses sugárzásból az ember érzékszerveivel csak nagyon szűk tartományt érzékel. A látható fény két szélén elhelyezkedő – infravörös és ultraibolya – tartomány nagyon jól használhatók analitikai elemzésekre. A spektrum, más néven színekép, az analitikai jel (intenzitás vagy abszorbancia) hullámhossz, frekvencia vagy hullámszám szerinti ábrázolása. Ez a spektroszkópai információ tömör megjelenítését jelenti, ami lehetővé teszi a minta minőségi jellemzését. Számos anyag képes UV-fényt elnyelni (4. ábra), a fizikai és kémiai tulajdonságaiknak megfelelően. Ezek az anyagok megfelelő eszközökkel vizualizálhatók, de az így nyert információk korlátozottak.



4. ábra: UV-VIS-elnyelési spektrum

Forrás: COOPER–GRANT–ZHANG 2013: 2.

Az infravörös színekép, bár tartalmaz kvantitatív analitikai információkat, elsősorban kvalitatív célokat szolgál. Ezt a módszert a szerves és többatomos szervesetlen molekulák azonosítására, jelenlétük kimutatására, valamint különböző, esetleg új vegyületek szerkezetének meghatározására használják. Míg az UV és az IR a sugárzott spektrum bizonyos részeinek elnyelésével teszi lehetővé a vizsgálatot, a Raman-spektroszkópia a fényszóródás elvén működik. A Raman-spektrometria kiegészíti az infravörös spektrométert. Mindhárom vizsgálati

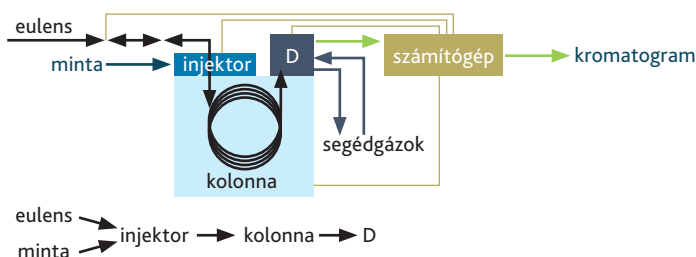
módszer alapján egyértelmű, hogy ezek az analitikai elemzések elsősorban egy komponenst tartalmazó minták vizsgálatára alkalmasak. A több komponenst tartalmazó minták elnyelési hatásai összeadódnak, ami zavarhatja a méréseket és megnehezíti az azonosítást.

## Kromatográfiás vizsgálatok

Az analitikai mérési módszerek nagyon ritkán szelektívek egy-egy minta adott komponensére. Ezért a mérést megelőzően mindig szükség van a zavaró komponensek eltávolítására. Az elválasztás alatt mindig térbeli elkülönítést értünk. A térben elkülönült alkotóelemek koncentrációját (mennyiségét) valamilyen szelektív detektorral mérjük. Természetesen az elválasztás nem mindig tökéletes, bizonyos anyagok a mérendő anyag mellett maradhatnak. A komponensek sebességkülönbségén alapszik a térbeli elkülönülésük. A kromatográfia a többfokozatú, nagyhatékonyságú elválasztási módszerek gyűjtőneve, a közös alapjuk, hogy az elválasztandó komponensek egy álló fázis és azon egy irányba áramló mozgófázis (*eluens*) között oszlik meg. A kromatográfiás módszerek többféleképpen csoportosíthatók.

### Gázkromatográfia

A gázkromatográfia (5. ábra) a termikusan stabil, de illékony szerves és szervetlen vegyületek elválasztására szolgáló eljárás. A gázkromatográfiába (GC) a mintát beinjektálják és elpárologtatják, majd az oszlop elején lekondenzál az anyag és a kolonnátér hőprogramja szerint kerül ismét gázfázisba. A mozgófázis (*eluens*) egy áramló inert gáz, amely nem lép reakcióba sem a mintával, sem az állófázissal. Szerepe csupán annyi, hogy „átszállítsa” az oszlopon az alkotóelemeket. Az állófázis feladata, hogy a megfelelő alkotóelemeket (beoldódással, megkötődéssel, ioncserével stb.) visszatartsa, és megfelelő időt töltsenek el valamilyen módon a kolonnán. Ezáltal az állófázissal kölcsönhatásba nem lépő alkotóelemek gyorsan végighaladnak a kolonnán, míg azok az alkotóelemek, amelyek időlegesen megkötődnek az állófázison, lemaradnak. Így térben és időben megtörténik az elválasztódás. Ennek megfelelően különböző időpontban érik el a detektort is. Ezt nevezzük retenciós időnek a kromatográfiai vizsgálatokban.



5. ábra: A gázkromatográfiás készülékek általános felépítése

Megjegyzés: A kolonna termosztálva van. D: detektor

Forrás: POKOL 2011: 323.

A kapilláris technika előnyei lehetővé tették a robbanóanyagok gázkromatográfiás elválasztásának szinte teljes megoldását.<sup>11</sup> Azonban a robbantások utáni anyagmaradványok vizsgálatából szerzett tapasztalatok azt jelzik, hogy szükség van a mérési módszer érzékenységének és szelektivitásának fokozására. Ennek egyik lehetséges módja az új típusú detektorok alkalmazása. A gázkromatográfiában a lángionizációs detektor (FID) mellett széles körben alkalmazzák az elektronbefogásos detektort (ECD) is.<sup>12</sup> Ez a detektor bizonyos vegyülettípusokra, például a nitrovegyületekre, szelektíven és kiemelkedően érzékenyen reagál.<sup>13</sup> Éppen ezért a nitrovegyületek érzékeny detektálásának képessége miatt gyakran használják robbanóanyagok elemzésére is.

## Elektroforézis

A kromatográfiához hasonló módon működő másik elválasztási módszer az elektroforézis. Az elválasztás hasonlóan megy itt is végbe mind az oszlopon (kapilláris), mind a rétegben (gél-elektroforézis). A két eljárás közt a különbség az állófázisban és az áramlást biztosító erőkben van. A gázkromatográfiánál az áramlás a nyomáskülönbségen alapszik, míg az elektroforézisnél az áramlást az elektromos tér biztosítja. Az elválasztást követően számos lehetőség van a komponensek detektálására. A detektálás történhet tömegspektrométerrel vagy spektroszkópiával (UV, IR). A vizes oldatok elektroforézises vizsgálata során meghatározhatjuk a vizes oldatban található anionok és kationok típusát. Ezek az információk lehetővé teszik a szerves robbanóanyagok összetételének megismerését. Az eredmény a hitelesített anyagminták (nagy tisztaságú, ismert összetételű minták) és a vizsgált minták azonos vizsgálati körülmények között mért retenciós idejeinek összehasonlításából származik.

## Vékonyréteg-kromatográfia

A kromatográfiás módszerek közül ez a legegyszerűbb változat, de a megfelelő minta-előkészítés után gyors és hatékony elemzést tesz lehetővé. Az elválasztás egy meghatározott méretű lapon (lehet műanyag, üveg) történik, amely szilikagél- vagy alumínium-oxid adszorbenssel van bevonva. A mérés menete során a minta oldatából cseppeket helyezünk az alapvonalra (kiindulási pont, amely a lemez alján megegyező távolságra van a lap aljától). A futtató kádba megfelelő mennyiségű oldószert (*eluens*, azaz a mozgófázis) helyezünk. Majd – vertikális típusú futtatás esetén – függőlegesen a kádba helyezzük a lapot és lefedjük. Az oldószert a mintában lévő anyagokat (foltokban) az alapvonalhoz viszonyítva különböző távolságokba juttatja el. A mozgófázis frontja az alapvonalától mért távolságainak és a foltok távolságainak aránya az adott vegyületre jellemző, amely egyben az azonosítás alapja is. A lemezen kialakult foltok különböző eljárásokkal tehetők láthatóvá. A mi esetünkben (robbanóanyagok) az egyik módszer a színreakció, amelyet a vékonyréteg-lemezen végzünk el.

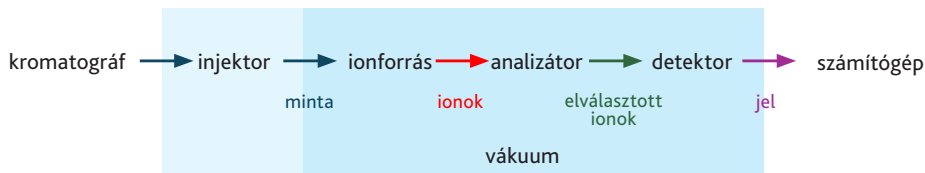
<sup>11</sup> GRANT 1995.

<sup>12</sup> TORKOS et al. 1995.

<sup>13</sup> KOLLA 1994: 309–318.

## Tömegspektrometriai vizsgálatok

A tömegspektrometria (MS) (6. ábra) alkalmas szerves és szervetlen anyagok kvalitatív (minőségi) és kvantitatív (mennyiségi) vizsgálatára egyaránt. Az analitikai műszerek között az egyik legszélesebb körben alkalmazott és legjobb érzékenységgel rendelkező eljárás, ugyanakkor specifikus is. Fontos megjegyezni, hogy a felhasználásának van egy korlátja, méghozzá az, hogy kizárólag gáz halmazállapotú vegyületek mérésére használható, vagyis a szilárd állapotú mintákat is el kell „párologtatni”.



6. ábra: A tömegspektrométer blokkdiagramja (Az injektor nem mindig van vákuum alatt)

Forrás: POKOL 2011: 289.

A tömegspektrometriás detektálás során a minőségi azonosítást a retenciós idő egyezésén túl adatbázissal való összehasonlítással végzik. Más kromatográfiához kapcsolódó detektálási módszerek esetében, ha nincs elérhető adatbázis, a retenciós idő lesz a döntő tényező. Mindazonáltal minden említett vizsgálati módszer esetében célszerű – és akkreditált rendszerben kötelező – hitelesített anyagminták referenciaként való alkalmazása, mivel ez növeli az azonosítás megbízhatóságát.

## Összegzés

A tanulmány célja az volt, hogy összefoglaljam a robbanóanyagok detektálására jelenleg széles körben alkalmazott módszereket. Rámutattam, hogy a kémiai analitikában elterjedt vizsgálati eljárások kiválóan alkalmazhatók a bűnös szándékú, robbanóanyagokkal elkövetett bűncselekmények felderítésében.

Természetesen a cikkem címének részletes tárgyalása nem lehetett átfogó, mivel gyakorlatilag bármely analitikai eljárás önállóan is jelentős tudományos ismereteket foglal magában. Szándékosan elkerültem a képleteket és számítási levezetéseket, mivel a téma keretein belül és annak szélesebb összefüggéseiben szerettem volna bemutatni a releváns meghatározásokat.

A robbantási terrorcselekményektől való általános félelem arra készteti az érintett országokat, hogy komolyan foglalkozzanak a robbanóanyagok észlelésével. Az ilyen bűncselekmények utólagos következményei még nagyobb aggodalmat váltanak ki a polgárokból, ami akár meg is nehezítheti számukra a mindennapi, szabad életvitelüket.

A modern, nagy hatékonyságú detektáló eszközök jelentős anyagi ráfordítást igényelnek, azonban az érintett hatóságok számára elengedhetetlen, hogy ezeket a beruházásokat megvalósítsák, és folyamatosan fejlesszék a meglévő eszközeiket.

Úgy vélem, hogy a jövőbeli kutatások fő irányvonala továbbra is a lehető legkisebb robbanóanyag-mennyiség észlelése, valamint ennek minél gyorsabb végrehajtása lesz, akár laboratóriumi környezetben kívül is.

## Felhasznált irodalom

- COOPER, K. Jason – GRANT, D. Christian – ZING, Z. Jin (2013): Experimental and TD-DFT Study of Optical Absorption of Six Explosives Molecules: RDX, HMX, PETN, TNT, TATP and HMTD. *The Journal of Physical Chemistry*, 117(29), 6043–6051. Online: <https://doi.org/10.1021/jp312492v>
- DARUKA Norbert (2012): Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. *Repüléstudományi Közlemények*, 24(2), 33–41. Online: [https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012\\_cikkek/02\\_Daruka\\_Norbert.pdf](https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/02_Daruka_Norbert.pdf)
- DARUKA, Norbert (2013a): Bombers, Wires and Explosives Part II. – Death Arrives with Us. *Műszaki Katonai Közlöny*, 23(2), 64–72. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2401/1671>
- DARUKA, Norbert (2013b): Bombers, Wires and Explosives Part I. – Death within a Reach. *Műszaki Katonai Közlöny*, 23(2), 73–80. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2403>
- GRANT, David Walter (1995): *Capillary Gas Chromatography*. London: John Wiley and Sons.
- KOLLA, Peter (1994): Gas Chromatography, Liquid Chromatography and Ion Chromatography Adopted to the Trace Analysis of Explosives. *Journal of Chromatography*, 674, 309–318. Online: [https://www.sci-hub.box/10.1016/0021-9673\(94\)85236-7](https://www.sci-hub.box/10.1016/0021-9673(94)85236-7)
- KOVÁCS Zoltán (2012): Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(2), 37–52. Online: [https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012\\_2\\_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai%20-%20Kov%C3%A1cs%20Z.pdf](https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_2_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai%20-%20Kov%C3%A1cs%20Z.pdf)
- LAKITS Gábor György (2023): *Robbanóanyag-analitikai vizsgálati módszerek alkalmazása a robbanóanyagokkal elkövetett bűncselekmények felderítésében*. Szakdolgozat. Budapest: Óbudai Egyetem.
- LAPAT Attila (2002): *Robbanóanyag-analitikai vizsgálati módszerek alkalmazása az igazságügyi szakértői munkában, szerepük a robbanóanyaggal elkövetett bűncselekmények felderítésében*. PhD-disszertáció. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem. Online: <https://doksi.net/hu/get.php?lid=16160>
- POKOL György (2011): *Analitikai kémia*. Budapest: BME.
- TORKOS Kornél et al. (1995): *Robbanóanyag-maradványok meghatározása talajból*. Előadás. Építéstudományi Egyesület Robbantástechnikai Szakosztály 6. Nemzetközi Robbantástechnikai Kollokvium, Budapest.
- YINON, Jehuda – ZITRIN, Shmuel (1993): *Modern Methods and Application in Analysis of Explosives*. Chichester: John Wiley and Sons.