

DETEKCE STOPOVÝCH ČÁSTIC VÝBUŠNIN

DETECTION OF TRACE PARTICLES OF EXPLOSIVES

Summary

In this article an overview of physical principles of explosive trace particles detection, especially during routine checking of persons, baggage, mail and cars, are described. These explosive detectors especially include gas chromatography, electron capture detection, ion mass spectroscopy and mass spectrometry. Some limitations are pointed out. Cheap multiple electrochemical sensors located at critical infrastructures and optical methods for stand-off detection are mentioned too.

Key words: explosives detection; trace particles; MS; IMS; GC; ECD

Úvod

Teroristické a kriminální útoky pomocí výbušnin představují jedno z největších bezpečnostních rizik. Jedním z technických prostředků jejich včasného odhalení jsou detektory stopového neboli malého množství výbušnin. Detektory stopových částic se v současnosti používají především při bezpečnostních prohlídkách osob, zavazadel, zásilek nebo vozidel. Zároveň je velká pozornost věnována vývoji malých, laciných, ale selektivních a citlivých detektorů pro ochranu kritických infrastruktur a optických metod pro detekci stopových částic výbušnin z odstupů. Detektory výbušnin pro kontrolu osob, zavazadel a zásilek odebírají vzorky buď nasáváním par z okolí kontrolovaného objektu, nebo stěrem jeho povrchu. Vlastní analyzační část je založena na mnoha různých principech jako chemické metody, spektrometrie pohyblivosti iontů (IMS), různé kombinace (duální) plynové chromatografie (DGC), předselektce polopropustnou membránou, předkoncentrace na speciálních površích, detekce elektronového záchytu (ECD), hmotnostní spektrometrie (MS) či biodetekce apod. Analyzujeme si některé z nich.

Metody „mokrě“ chemie

Detekce výbušnin **chemickou reakcí**, klasickou "mokrou" chemií je pro cenovou dostupnost stále dosti používanou metodou. Tyto prostředky mají nejčastěji formu soupravy činidlových roztoků nebo sprejů. Systémy bývají založeny na barevných reakcích s takovými sloučeninami jako TNT, RDX, HMX, PETN, TETRYL, některé i s anorganickými nitráty a chloridy, které se nacházejí ve výbušninách jako dynamit, bezdýmové prachy, plastické trhaviny, amonity atd.

Citlivost bývá řádu 10^{-7} až 10^{-8} gramů. Tyto detekční soupravy jsou zamýšleny spíše pro detekci a předběžnou identifikaci - prokázání, že daná látka určitý druh výbušniny nebo spíše skupinu druhů obsahuje).

¹ plk. doc., RNDr., Ph.D., Policejní akademie ČR v Praze, Lhotecká 559/7, P.O.Box 54, 143 01 Praha 4, e-mail: turecek@polac.cz

Tenkovrstvá chromatografie je detekční metoda založená na různém postupu jednotlivých druhů molekul analyzované látky chromatografickým proužkem. Existují různé verze, ale chromatografický proužek je obvykle konjugován danou protilátkou, která se specificky váže právě s daným druhem molekul výbušniny. Přes speciální zadržovací zónu se pak k detekční zóně dostane pouze protilátka vázající se s výbušninou a způsobí zde zbarvení. Nevýhodou je jednorázové použití a malé analyzační schopnosti.

Fyzikální metody

Základem velkého počtu detektorů výbušnin na fyzikálním principu, u starších typů to platí téměř výhradně, je **detektor elektronového záchytu (Electron Capture Detector - ECD)**. Nutno předeslat, že podstatnou částí těchto detektorů jsou též různé způsoby předselektce nebo předkoncentrace molekul výbušnin (nebo kombinace obou způsobů v sérii). Detektor elektronového záchytu či spíše detektor záchytu elektronů je komůrka, kterou protéká nosný plyn unášející s sebou i částice výbušnin. Jako nosný plyn slouží někdy argon, ale i helium. V detektorech je nosný plyn nejdříve ionizován* a pak protéká mezi dvěma elektrodami, mezi nimiž je stejnosměrné napětí. Ionty nosného plynu a jimi uvolněné elektrony způsobují určitý svodový proud mezi elektrodami. Ten je také měřen. Případná přítomnost nitridů výbušnin, které mají všechny vysokou elektronovou afinitu, způsobí rychlou absorpci volných elektronů poskytnutých nosičem a tímto i redukcí proudu detektorem.

Předselektce polopropustnou membránou je velmi často využívanou pomocnou metodou. Nasávaný vzduch s organickými molekulami hledaných látek proudí kolem speciální polopropustné membrány. Povrchová adsorpce organických molekul na povrchu polymerové polopropustné membrány je daleko vyšší než je tomu například u dusíku či kyslíku, hlavních složek vzduchu. Tyto organické molekuly pak, vzhledem k rozdílným parciálním tlakům na obou koncích membrány, difundují skrz membránu a jsou strhávány nosným plynem do detektoru. Částice prachu skrz membránu, vzhledem ke své velikosti, neprojdou vůbec. Polopropustné membrány z moderních materiálů s vysoce selektivní povrchovou adsorpcí nacházejí uplatnění jako pomocný prostředek předselektce organických molekul u moderních detektorů na bázi plynové chromatografie, spektrometrie mobility iontů a dokonce i hmotnostní spektrometrie, kde zároveň redukuje tlak.

Další často využívanou pomocnou metodou je **předkoncentrace sorpcí na speciálním povrchu (s následnou tepelnou desorpcí)**. Nasávaný vzduch s organickými molekulami hledaných látek proudí po určitou dobu kolem wolframového (platinového) vlákna (či mřížky) s povrchovou vrstvou ze speciálního materiálu s vysokým stupněm sorpce zájmových molekul, většinou molekul obsahujících většinou nitroskupinu. Pak je kolem vlákna a dále přes vlastní detektor hnán nosný plyn za současného žhavení vlákna. To má za následek to, že dříve nasorbované zájmové molekuly jsou tepelně desorbovány a strhávány nosným plynem do detektoru. Předkoncentrace sorpcí na speciálních površích z moderních materiálů (s následnou tepelnou desorpcí) nachází uplatnění jako pomocný prostředek předkoncentrace organických molekul u moderních detektorů na bázi plynové chromatografie či hmotnostní spektrometrie.

Plynová chromatografie (Gas Chromatography - GC) je separační metoda pro analýzu složení látek, značně rozšířená po celém světě v mnoha různých podobách. Touto metodou může být analyzována většina sloučenin s bodem varu menším než asi

* K ionizaci slouží naprosto nejčastěji proud beta částic z tabletky radioizotopu. Někdy slouží k ionizaci molekul nosného plynu místo toho vysoký gradient elektrického potenciálu utvořený kolem špičky ionizační jehly, na níž je přivedeno vysoké napětí (3 – 4 kV) a jejíž hrot se nachází uprostřed přírodní trubice.

250° C. Typické doby analýzy u laboratorních přístrojů činí 10 až 30 minut, což je pro bezpečnostní detektory nepřijatelné. U nich se doba analýzy pohybuje v rozmezí zhruba 3 až 30 sekund. I pro detekci výbušnin či drog se využívá několik podob plynové chromatografie. Vždy je však odebraný vzorkový materiál strháván nosným plynem (nějaký inertní plyn) a spolu s ním vstupuje do vyhřívané separační kolony naplněné sorbentem, kde se směs rozděluje na jednotlivé složky podle jejich charakteristických rychlostí proudění. U detektorů výbušnin a drog je separační kolona tvořena tenkou kapilárou se sorbetem na vnitřních stěnách (či dvěma kapilárami - dual GC a různými sorbenty), která klade proudění značný odpor, který je ale různý pro různé složky. Okamžik vstupu vzorku do kolony je buďto řízen přesným dávkovačem nebo přesně časově zjištěn. Na konci kolony je pak nějaký typ vlastního detektoru, například detektor elektronového záchytu (ECD) nebo chemiluminescentní detektor* (Chemiluminescence - CL). Citlivost bývá méně než 1 částice v 10^{14} .

Často za kolonami plynové chromatografie následuje jako analyzátor-detektor spektrometr mobility iontů (GC/IMS) nebo hmotnostní spektrometr (GC/MS). V tomto případě pak plynová chromatografie slouží spíše jako předběžné rozdělení molekul do skupin podle rychlosti proudění pro snadnější a jednoznačnější následnou analýzu. Bližší popis těchto kombinovaných metod viz dále.

Novější, ale dosti se rozšiřující metodou je **spektrometrie mobility iontů** (Ion Mobility Spectrometry - IMS), která při potřebné selektivnosti umožňuje vývoj malých a odolných přístrojů. Tato metoda je používána nejen pro detekci při bezpečnostních prohlídkách, ale často pyrotechnickými odděleními kriminalistických ústavů jako nosná pro detekci i identifikaci výbušnin**, proto ji budeme věnovat trochu více pozornosti. Vzduch obsahující analyzované stopové částice proudí (u některých verzích spolu s přidávaným reakčním plynem) přes vstupní část detektoru. Zde probíhá ionizace, většinou slabým radioaktivním zářičem. Z reakčního plynu, vodních par apod. tak vznikají různé, tzv. reakční ionty. Ty zase reagují s přicházejícími molekulami detekovaných látek a vytvářejí tzv. produkční ionty. Srážky s okolními částicemi vedou k tomu, že se jak kladné, tak záporné ionty formují do skupinek o různé pohyblivosti. Vstupu iontů do vlastní driftové oblasti (driftové trubice) brání elektronická brána - elektricky nabitá vstupní mřížka. Spektrometry pohyblivosti iontů mívají dva operační módy - mód pro záporné ionty výbušnin a mód pro kladné ionty drog. U nejnovějších přístrojů se i mód pro kladné ionty využívá pro podpůrné informace pro identifikaci iontů výbušnin. Brána je otevírána v předem určených intervalech na velmi krátkou dobu (zhruba 200 μ s). Při jejím otevření jsou ionty strhávány a urychlovány silným elektrostatickým polem driftovou oblastí při atmosférickém tlaku proti proudu driftového plynu k elektrodě kolektoru. Při své cestě se však srážejí s molekulami proti proudícího driftového plynu - suchého vzduchu. Jsou tedy zapotřebí dvě čerpadla - jedno pro nasávání vzorku a druhé pro pohánění driftového plynu. Všechny ionty jsou urychlovány stejně silným elektrickým polem, na stejném úseku své volné dráhy tedy získají stejnou energii. Protože však mají různé hmotnosti, budou mít i různé rychlosti. Kombinace různých zrychlení a srážek s molekulami driftového plynu má za následek i různé výsledné rychlosti proudění a skupiny jednotlivých druhů iontů dosáhnou kolektoru v různých časech t. Každý druh iontu má svou iontovou pohyblivost K:

* V komoře chemiluminescentního detektoru je k proudu plynů přidáván ozón (O_3). Kyslíčnick dusnatý NO reaguje s ozónem O_3 na excitovaný kyslíčnick dusičitý NO_2^* . Ten pak vzápětí přechází do základního, neexcitovaného stavu NO_2 a emituje přitom infračervené záření (600 až 1 800 nm). Toto záření je přes infračervený filtr detekováno a zesilováno citlivým fotonásobičem

** i analýze povýbuchových zplodin apod.

$$K = \text{rychlost iontů} / \text{intenzita el. pole} = v / E = (l / t) / (U / l) = l^2 / (U \cdot t)$$

kde l je délka driftové trubice a U je urychlující napětí.

Kolektorový proud je zesilován a jeho velikost jako funkce času odpovídá množství iontů dopadajících na kolektor v daný okamžik. Tato závislost bývá nazývána plazmagramem. Driftový čas iontů se pohybuje v rozmezí přibližně 5 až 20 ms. Přesná identifikace, přesné určování časové polohy píků, bývá zajištěno vnitřním kalibrantem. Doba analýzy obvykle nepřesahuje 5 sekund. Udávaná citlivost se pohybuje kolem nanogramu až stovek pikogramů. Velice však záleží na podmínkách při odběru vzorků. Selektivita se pohybuje kolem 1 %. Některé přístroje koncentrují ionty vznikající v době uzavření elektronických vrat v elektrickém lapači. Tím se zvyšuje citlivost systému. Metodu pak nazývají zachycovací spektrometrií pohyblivosti iontů (Ion Trap Mobility Spectrometry - ITMS). Přítomnost vodních par by mohla celý plazmagram posunout. Toto se řeší vysoušením nasávaného vzduchu, kdy se tento vzduch nasává přes "molekulové síto" - zeolitové kuličky*. I spektrometrie mobility iontů bývá někdy kombinována s předselekcí polopropustnou membránou nebo s duální plynovou chromatografií.

Výkonné spektrometry pohyblivosti iontů se solidním počítačovým zpracováním si může uživatel sám naprogramovat na nové druhy zájmových látek. V tomto případě si ale musí danou látku předem zaopatřit, změřit plazmagram této látky (či spíše nějaké její rozhodující složky) a uložit ho do paměti přístroje. V paměti může být zaneseno hodně druhů látek, v daný okamžik mohou dnešní přístroje založené na spektrometrii pohyblivosti iontů současně detekovat pouze značně omezený počet druhů látek**.

Hmotnostní spektrometrie (někdy též hmotová spektrometrie Mass Spectrometry - MS) umožňuje v podmínkách vysokého vakuu*** měřit parciální tlaky zbytkových plynů, které pro potřeby měření nejdříve ionizuje. Z výsledného hmotnostního spektra můžeme analyzovat látkové složení výchozích vzorků. Tato metoda je považována za vrchol v oblasti kriminalistické analýzy látek a má obecně největší předpoklad schopnosti vzájemného rozeznání simulátoru a originální výbušniny.

Hmotnostní spektrometrie v oblasti detekce výbušnin a drog je dnes nejčastěji založena na kvadrupólových hmotnostních spektrometrech. Jejich základem je kvadrupólový hmotnostní filtr, což je soustava čtyř podlouhlých rovnoběžných elektrod, z nichž na dvě a dvě se vkládá stejnosměrné napětí a přes něj se překládá vysokofrekvenční střídavé napětí: $U = U_0 + U_1 \cos(\omega t)$. Z iontového zdroje vstupují do prostoru mezi elektrodami ionty ve směru rovnoběžném s osou elektrod. Z daného geometrického uspořádání elektrod a průběhu napětí se matematickým výpočtem získají dráhy iontů prolétajících mezi elektrodami. Ty mají obecně oscilační charakter s narůstající amplitudou. Stabilní dráhu mají a hmotnostním filtrem proletí a na výstupu z filtru jsou tedy v daný okamžik detekovány pouze ionty dané hmotnosti (přesněji daného měrného náboje e/m), jejíž hodnota odpovídá charakteristice napětí na elektrodách v daný čas. Velkou předností těchto spektrometrů je to, že ionty vstupující do spektrometru mohou mít různé energie (na ní nezáleží). Pomocí změn napětí

* Zeolity jsou přírodní či dnes spíše uměle připravené látky, jejichž hlavním stavebním kamenem je kysličník křemičitý a hlinitý a jejichž molekuly tvoří krystalickou strukturu s prázdnými prostory zcela přesného tvaru. Způsobem přípravy umělých zeolitů lze dosáhnout nejrůznějších velikostí kanálků a komůrek. Zeolity vynikají velkým vnitřním povrchem kanálků a tím velkou sorpční kapacitou. Jsou jimi ovšem sorbovány jen molekuly, jejichž velikost není větší než rozměr kanálků (odtud název molekulové síta). Po nasycení molekulového síta vodou je možno ho odplynit zahřátím, například v mikrovlnné troubě.

** Např. pouze 5 apod.

*** Vysoké vakuum znamená tak nízký tlak, koncentraci částic, že částice, jako atomy, molekuly, ionty a elektrony létají od jedné stěny aparatury ke druhé, jejich vzájemné srážky v prostoru můžeme zanedbat.

můžeme postupně "projet" celé spektrum. Získané hmotnostní spektrum (v praxi dvě či hned více různých spekter - viz níže) pak analyzuje výkonný počítač - musí zjistit, z jakých základních spekter je složeno. Základní spektra široké palety látek má počítač ve své paměti.

Pro **detekci iontů** vylétávajících z filtru se používají, alespoň u modernějších přístrojů, dynody a následný proud vyražených elektronů je zesilován kanálovým násobičem a dopadá na anodu.

Důležitou součástí hmotnostních spektrometrů jsou **iontové zdroje**, kterých existuje více typů, jejich popis by však přesahoval rámec studie. Je ale nutné poznamenat, že zatímco dva přístroje na různých principech vlastní hmotnostní spektrometrie (ale se stejným iontovým zdrojem) by měly dát vždy stejný tvar hmotnostního spektra, tak dva přístroje s iontovými zdroji odlišných principů dají spektra odlišná. Příčinou je odlišná fragmentace analyzované látky na ionty.

Pro zvýšení analyzačních schopností se používají dva (MS/MS) či tři hmotnostní spektrometry pracující v sérii. Prvním hmotnostním filtrem v daný okamžik (dle právě nastavených charakteristik jeho elektrického pole) projdou pouze ionty dané hmotnosti. Protože jejich přímá registrace v tomto bodě by ještě nevedla vždy k jednoznačnému určení druhů výchozích látek, putují tyto ionty dále do fragmentační komory. Zde jsou bombardovány částicemi pomocného plynu a rozbíjeny tak na typické skupiny tzv. dceřiných iontů. Ty pak putují do druhého hmotnostního spektrometru, který zjišťuje poměrné množství dceřiných iontů jednotlivých hmotností. Tato informace pak umožňuje podstatně přesněji určovat druhy analyzovaných látek, včetně výbušnin.

Pokud není zrovna na závalu poněkud delší doba měření, tak se hmotnostní spektrometrie většinou doplňuje o předselekcí molekul pomocí plynové chromatografie (GC/MS). Vzhledem k různé rychlosti proudění pak na konci kapiláry vystupují jednotlivé druhy (skupiny druhů) molekul postupně. Vzhledem k tomu, že následující hmotnostní spektrometr "projede" celé spektrum v čase kratším dvou sekund, získáme tak spektra jednotlivých skupin látek, což se daleko lépe interpretuje.

Pro oddělení vysokovakuové části od atmosférického tlaku se používají buď polopropustné membrány nebo velice užoučké štěrby, kladoucí proudění veliký odpor. Celkový proud plynů přes membránu je tak malý, že pro jeho odčerpávání stačí iontově sorpční vývěva, která nemá předčerpávání. Ve druhé variantě je sice nutná výkonnější turbomolekulární vývěva předčerpávaná například membránovou vývěvou, ale takováto kombinace vývěv nám prakticky neovlivní měření zpětným proudem plynů a na štěrbinovém otvoru neprobíhá (někdy nežádoucí) selekce molekul jako na polopropustné membráně. Navíc jsou i pro svoji odolnost poměrně vhodné pro čerpání chemicky agresivních látek. Schopnost měření agresivních látek ale možnosti přípravy imitací příliš neovlivní, protože, jak se ukázalo při jejich konstrukci, musely být některé jinak velmi vhodné složky imitací vyloučeny z použití právě pro svoji zvýšenou chemickou agresivnost vůči ostatním složkám.

Modernější než klasický kvadrupólový hmotnostní spektrometr je **hmotnostní spektrometr s iontovou pastí** (Ion-Trap Mass Spectrometer). Iontová past je vytvářena zvláštním radiofrekvenčním elektromagnetickým polem, které zabraňuje iontům prostor pastí opustit. Celkové pole se skládá z prstencovitého kvadrupólového RF pole prstencové elektrody, dipólového RF pole na výstupu a elektrodynamické brány na vstupu. Proces probíhá ve dvou fázích.

Během první, akumulární fáze je elektrodynamická brána otevřena a ionty z iontového zdroje vlétají do pastí a jsou zde akumulovány. Pro zbrzdění a tím i pravděpodobnější polapení injektovaných iontů obsahuje past plyn helia o tlaku $\approx 10^{-1}$ Pa (někdy plyn argonu). Injektované ionty ztrácejí svoji kinetickou energii srážkami s atomy helia. Doba akumulace iontů je podle síly iontového paprsku měněna od 0,1 ms do 1 s.

Během druhé fáze, fáze analýzy, je nejdříve zavřena vstupní elektrodynamická brána a pak se postupně zvětšují amplitudy jak kvadrupólového, tak dipólového pole a tím se zvětšují i oběžné dráhy polapených iontů. Záleží ale opět na jejich hmotnosti (měrném náboji e/m). Ionty jsou z pasti, skrz výstupní dipólové RF pole, injektovány a následně detekovány postupně, se vzrůstající hmotností. Doba vlastní analýzy je krátká, až jenom 50 ms.

Jediná iontová past umožňuje provádět nejen MS/MS měření, tedy hmotnostní spektrometrii dceřiných iontů (vzniklých fragmentací rodičovských), ale i MS^n (běžně $n \leq 6$), tedy hmotnostní spektrometrii dceřiných iontů dalších pokolení, vzniklých vždy fragmentací předcházející generace. To se provádí tak, že po fázi akumulace se z pasti injektují ven ionty všech hmotností vyjma iontů zvolených býti rodičovskými. Rodičovské ionty jsou pak urychleny a usměrněny elektromagnetickým polem ke koncovému víčku pasti, kde se srážejí s atomy helia a jsou tak disociovány - rozděleny na ionty dceřině. Ty jsou pak už známým způsobem soustředěny v centru pasti, skenovány a detekovány nebo se i mezi nimi zvolí skupina určité hmotnosti pro tvorbu další generace atd.

Oproti klasickým kvadrupólovým hmotnostním spektrometrům má hmotnostní spektrometr s iontovou pastí řadu výhod. Protože pracuje při vyšším tlaku, není zapotřebí drahé vysokovakuové techniky, má vyšší rychlost skenování, lepší rozlišení i citlivost, větší rozsah měřených hmotností a hlavně možnost měření MS^n , tedy lepší analytické schopnosti. Systémy s hmotnostní spektrometrií se obecně vyznačují velmi vysokou citlivostí a rozlišovací schopností. Množství druhů určovaných látek je vysoké, což velice omezuje plané poplachy. A přitom ani hmotnostní spektrometry nejsou metodou absolutní. Obecné problémy detektorů stopových částic s odběrem vzorků málo těžkých látek (plastické výbušniny) samozřejmě zůstávají. Vzhledem k různým ztrátám a složitému překrývání jednotlivých složek v hmotnostním spektru nejsou hmotnostní spektrometry schopny určit vzájemné poměrné zastoupení základních prvků organických látek (výbušnin) – vodíku, kyslíku, uhlíku a dusíku.

Sít'ové systémy elektrochemických (elektrobiologických) senzorů

Výše popsané, v současnosti poměrně rozšířené a citlivé detektory stopových částic výbušnin pro bezpečnostní prohlídku osob, zavazadel, zásilek a vozidel jsou založeny na různých fyzikálních principech spočívajících v selekci molekul analyzované směsi plynů a par podle rychlostí a drah pohybu těchto molekul*. Tyto systémy jsou sice citlivé a selektivní, ale bohužel též poměrně rozměrné a především dosti drahé**. Proto je nyní velká pozornost výzkumných aktivit zaměřena vývoj malinkých a laciných vysoce citlivých elektrochemických (elektrobiologických) senzorů pro detekci par především výbušnin (ale i chemických a biologických látek). Na speciální detekční povrchy těchto senzorů jsou vyhledávané molekuly vázány na chemickém nebo biochemickém principu. Množství takto navázaných molekul je pak pomocí měření na fyzikálním principu převedeno na elektrický signál. Je zapotřebí docílit toho, aby doba odezvy těchto elektrochemických senzorů byla

* Například plynová chromatografie (GC – Gas Chromatography) provádí selekci molekul podle jejich rychlosti pohybu v tenkých kapilárách, nejrozšířenější spektrometrie pohyblivosti iontů (IMS – Ion Mobility Spectrometry) nejdříve molekuly ionizuje a pak měří rychlost pohybu těchto iontů urychlovaných elektrostatickým polem v protiproudu plynu, hmotnostní spektrometrie (MS – Mass Spectrometry) též molekuly nejdříve ionizuje a pak měří dráhy vzniklých iontů ve složitých elektromagnetických polích ve vysokém vakuu.

** Cena dobrých ručních a stolních přístrojů se pohybuje v relacích 1,5 – 2 milióny Kč.

menší než 2 sekundy a především velmi náročného požadavku citlivosti alespoň pod 1 ppb* a pokud se mají detekovat i plastické výbušniny, tak citlivosti pod 1 – 10 ppt**.

Tyto laciné senzory mohou být základem detekce výbušnin v konvenčních rámových systémech, v laciných ručních detektorech, ale především se s nimi počítá pro celé sítě čidel detekujících výbušniny a jiné nebezpečné látky. Tyto čidla mají být rozmístěna v různých místech kritických místech budovy (objektu), podobně jako klasická čidla EZS nebo EPS. Typicky vhodnými místy umístění těchto čidel na výbušniny jsou vchody, výtahy, eskalátory apod.

Molekulově vtištěné polymery (MIP – Molecular Imprinted Polymers) – polymery s mikropóry selektivně vázající jen určitý druh molekul (výbušnin – např. TNT) na svém povrchu. I nepatrný nárůst hmotnosti je registrován změnou rezonanční frekvence krystalu, kterého je polymer součástí.

Senzory s oxidy kovů měří změny vodivosti způsobované adsorpčními a desorpčními procesy na povrchu čidla.

Optická detekce stopových částic výbušnin z odstupů

Pokročilé integrované řídicí a bezpečnostní systémy budov by měly též zahrnovat systém schopný v chodbách a halách budovy nebo v těsné blízkosti budovy vyhledat a přesně určit osobu mající stělnou zbraň ukrytou pod oděvem a především výbušninu (či chemickou bojovou látku) ukrytou pod oděvem či v příručním zavazadle. Tento problém mohou vyřešit systémy optické detekce stopových částic výbušnin*** z odstupů.

Při těchto metodách je těsné okolí kontrolované osoby a jejího zavazadla z odstupů ozařováno světelným paprskem (dle druhu použité metody v různých částech elektromagnetického spektra) a je detekován a spektrálně analyzován světelný signál přicházející zpět z kontrolovaného prostoru. Pro tento účel jsou použitelné například metody jako Ramanova spektrometrie, fluorescence, infračervená absorpce nebo Spektroskopie laserem vybuzeného plazmatu (LIBS - laser induced breakdown spectroscopy).

Tyto optické metody detekce výbušnin z odstupů by umožnily nenápadné a spolehlivé odhalení sebevražedných útočníků s určitým předstihem.

Závěr

Detektory stopových částic výbušnin nejsou vůbec pouhými předběžnými analyzátory fyzicky nalezeného materiálu podezřelého z toho, že se jedná o výbušninu či drogu. Naopak pomáhají obsluze při kontrole objektů najít případně ukryté výbušniny či drogy nebo i upozornit na to, že v poslední době, třeba i před několika dny, přišel kontrolovaný objekt do styku s těmito zájmovými látkami. Například osoba manipulující s výbušninou či drogou má mikroskopickými zbytky těchto látek kontaminovány ruce. Tyto zbytky by byly druhý den pravděpodobně detekovány, i kdyby si mezi tím umyla ruce. Hlavní věc je, že pokud nebude

* Parts per billion; 1 částice v 10^9 ; tj. koncentrace, kdy na jednu částici daného druhu připadá 10^9 částic jiných druhů. Pro označování koncentrací je zažito ppb, kde „b“ znamená americký billion, který znamená evropskou (tj. ve většině evropských zemích jako v Česk, na Slovensku, obvykle i v Anglii) miliardu (milliard).

** Parts per trillion; 1 částice v 10^{12} ; americký trillion je roven evropskému biliónu. Evropský trilión činí 10^{18}

*** Jednou možností je optická objemová detekce výbušnin z odstupů pomocí spřažení tří fyzikálních principů do systému na motoricky otočné hlavici a to klasické CCTV kamery, kamery v milimetrovém pásmu a aktivního senzoru pracujícího v terahertzovém pásmu elektromagnetického spektra.

mít k dispozici špičkový detektor, nebude mít nikdy jistotu, kde všude zůstaly nebo kam se dostaly detekovatelné mikročástice nebo kudy, u těkavých látek, unikají výpary.

Literatura

- [1] Barringer Instruments Ltd., 1730 Aimco Boulevard, Mississauga, Ontario, L4W 1V1 Canada, www.barringer.com
- [2] Bruker Franzen Analytik, GmbH, Fahrenheistr. 4, D-28359 Bremen, tel.(0421) 22 05-0, fax(0421) 22 05-100, www.bruker.de, www.bruker.com
- [3] IDS, Intelligent Detection System Inc., 152 Cleopatra Drive, Nepean, Ontario, K2G 5X2, www.idsdetection.com, www.tracedetection.com
- [4] Ion Track Instruments, 340 Fordham Road, Wilmington, MA 01887, USA, www.iontrack.com
- [5] Kemp, M. Baker, C. Gregory, I. Stand-off Explosives Detection Using Terahertz Technology. In Schubert, H. Rimski-Korsakov, A. (eds) Stand-off Detection of Suicide Bombers and Mobile Subjects. –NATO Security through Science Series, Springer, Netherlands, 2006, p.151-165, ISBN 1-4020-5158-1
- [6] Millimetrix, 100 Venture Way, Hadley, MA 01035, www.milivision.com
- [7] Rogers, K. Air Piracy – Hijacking Aircraft. The Journal of Prohibited & Concealable Weapons. 2000, jaro, č. 1, s. 6
- [8] Smiths Detection, 30 Hook Mountain Road, Pine Brook, NJ 07058, USA, www.smithsdetection.com
- [9] TeraView Ltd., Platinum Building, St John's Innovation Park, Cowley Road, Cambridge, CB4 0WS, www.teraview.com
- [10] TUREČEK, J. Technical Masking of Improvised Explosive Devices. In Schubert, H.Kuznetsov, A. (eds) Detection and Disposal of Improvised Explosives. - NATO Security through Science Series, Springer, Netherlands, 2006, s. 131 – 142, ISBN 1-4020-4885-8
- [11] TUREČEK, J. Technické prostředky bezpečnostních služeb II - Detektory pro bezpečnostní prohlídku osob, zavazadel a zásilek, 1. vyd., Praha: PA ČR, 1998. 100 s. ISBN 80-85981-81-5
- [12] TUREČEK, J. Výcvikové metody obsluhy, optimální kombinace a způsoby použití detektorů zbraní, nástražných výbušných systémů a drog pro bezpečnostní prohlídky osob, zavazadel a zásilek: Závěrečná výzkumná zpráva. Praha: Policejní akademie ČR, 2002 [obhájeno 29.1. 2002] 65 s.

Resume

Recent terrorist attacks in last few years have remembered the importance of explosive detection. The reliable detection of explosives is not only airport's problem. It is the matter of all important building and places. In this article an overview of physical principles of explosive trace particles detection, especially during routine checking of persons, baggage, mail and cars, are described. Typical contemporary trace particles detectors for security checking take samples by vacuuming of vapors from the vicinity of the controlled object or by wiping its surface. The analysis part itself consists in a lot of different principles as chemical and physical methods and their mutual combinations. These explosive detectors especially include electron capture detection (ECD), (dual) gas chromatography (GC), preselection by a semipermeable membrane, various preconcentrations on special surfaces, ion mass spectroscopy (IMS) and effective but rather expensive mass spectrometry (MS).

Electron capture method detects substances that strongly capture thermal electrons. Gas chromatography (dual gas chromatography) uses the thin capillary (two capillaries) in which the carrier gas with vapors of explosive and other substances moves inside with different velocities. In the ion mass spectroscopy analyzed vapors are ionized and drifted against stream of an inert gas by an external electric field to a collector. Ions are sorted according their mobility. In mass spectrometry analyzed ions are sorted by electromagnetic field in a quadrupole filter according their charge-to-weight ration. Some limitations are pointed out. Vapor detectors have problems to find the explosives with insufficient tension of their vapors or tightly sealed IED (Improvised Explosive Devices). Cheap multiple electrochemical sensors (Molecular Imprinted Polymers) located at critical infrastructures and optical methods (Laser Induced Breakdown Spectroscopy, absorption methods, Raman spectroscopy, fluorescence methods) for stand-off detection are mentioned too. Detectors of trace particles of explosives are powerful instruments for finding of concealed improvised explosive devices.