

## Oheň, žhářství, výbuch a povýstřelové zplodiny

doc. Mgr. Jiří Drábek, PhD.

Laboratoř experimentální medicíny,  
Ústav molekulární a translační medicíny,  
LF UP a Fakultní nemocnice Olomouc



### Cíl lekce

- Po této lekci byste měli:
  - znát podmínky vzniku ohně
  - rozeznat doutnavé, plápolavé a extrémní hoření
  - znát rozdíly mezi ohněm uvnitř a venku
  - vidět požářiště jako místo činu
  - vědět, jak rozeznat záměrně podpálený oheň od samovzníceného
  - klasifikovat výbuchy a výbušniny
  - znát průběh vyšetřování výbuchu
  - znát způsoby analýzy výbušnin
  - znát způsob analýzy povýstřelových zplodin.

### Osnova přednášky

- Oheň
- Požár uvnitř a venku
- Žhářství
- Ohnisko a příčina požáru
- Exploze a imploze
- Iniciátory výbuchu, spontánní vzplautí
- Parametry výbušnin
- Povýstřelové zplodiny

### Forenzní otázky po požáru

- Jde o žhářství?
  - Urychlovač hoření: plyn, kapalina, pevná látka
- Žil, když začalo hořet?
  - CO v krvi, zakouřené plíce (ale: mohl být mrtvý dříve, než se stačil pořádně nadechnout)

### Oheň

- Oheň
  - prudká oxidace za uvolnění světelného a tepelného záření
  - exotermická redoxní reakce
  - oxidantem bývá většinou vzdušný kyslík (21% vzduchu), ale v ohňostrojích může být místo kyslíku  $\text{NO}_3^-$

### Čtyři podmínky vzniku ohně

- Zápalná **látka**
- **Oxidační** činidlo
- Vznětný **podnět**
- Možnost **řetězové reakce** mezi zápalnou látkou a oxidovadlem
  
- Pokud jsou 4 podmínky splněné, tak hořením roste entropie (neuspořádanost) a klesá Gibbsova volná energie, takže je to samovolný proces.

## Druhy ohně

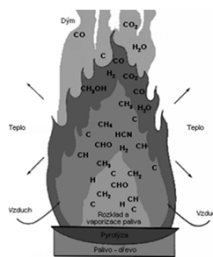
- Obvyklý oheň
  - pyrolýzí pevných látek se uvolňuje hořlavý plyn a tím vznikají plameny
  - plamenný – jazyky hořících plynů
  - doutnající – světlo a teplo bez plamenů; šíří se pomaleji než plamenný oheň; po zlepšení ventilace se může změnit v plamenný oheň
- Překotný, extrémní oheň
  - obzvláště nebezpečný
  - flashover, backdraft, fire gas ignition

## Požár

- 20% požárů je cíleně zapálených
- Hašení
  - zrušení jedné ze čtyř ohňových podmínek
- Zuhelnatělé zbytky
  - doutnají, když se přestanou pyrolýzí vytvářet hořlavé plyny
  - malé plamínky při spalování CO

## Hoření dřeva

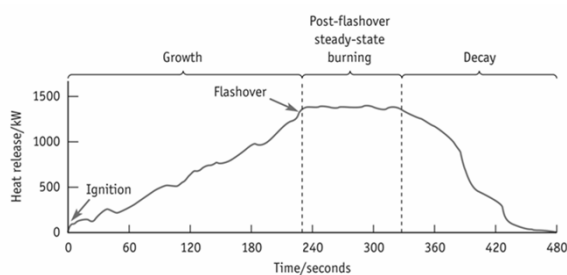
- Hoření dřeva: Nejdříve dochází k pyrolýze dřeva na lehčí uhlovodíky, ty se dále teplem rozkládají a oxidují (mnohdy nedokonale), což uvolňuje teplo.



## Požár v uzavřených místnostech

- Fáze
  - vznícení (4 podmínky současně splněny)
  - nabírání na síle
  - překotné až extrémní rozšiřování
  - plný oheň
  - uhasínání (až zhasnutí).

## Uvolňování tepla při ohni v uzavřených místnostech



## Oheň v místnosti s nedostatkem vzduchu

- Doutnání
- Samouhašení

## Vznětný podnět

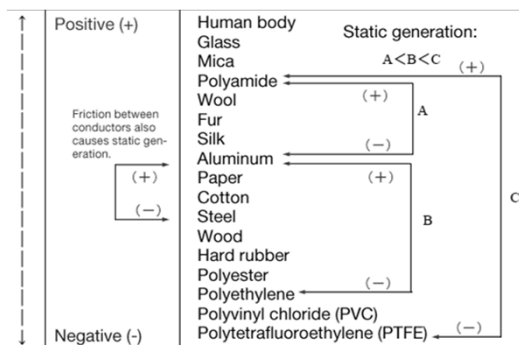
- Tření
  - sírky o krabičku
  - v mechanickém soukolí při nedostatečném mazání
- Exotermní chemická reakce
  - samozahřívání pohonných hmot, mokrého sena: spontánní vzplanutí
  - malý oheň
- Elektřina
  - průchod elektřiny přes rezistor
  - elektřina prochází plynem (elektrický oblouk, elektrostatická jiskra)
  - špatný kontakt
  - zahřívací součástka (varná konvice)
  - rozžhavené vlákno žárovky
  - silnější proud než kabel unese
  - špatná izolace
- Nukleární reakce na slunci
  - na Zemi se projevuje jako  $1\text{ kW/m}^2$ , což po koncentraci konvexní čočkou může dosáhnout  $20\text{ kW/m}^2$  (zápalná teplota pro celulózu – papír)



## Elektrostatická jiskra

- New York 1922
- Plynová komora pro kočky: uhelný plyn (jedovatá směs vodíku a methanu) v železném tanku
- Jeden kocour se srdnatě bránil a na zježené srsti se mu vytvořil elektrostatický náboj
- Nakonec se podařilo ho do komory vhodit.

## Statická elektřina - triboelektrický jev



## Spontánní vzplanutí

- Potřebná exotermní reakce je oxidace vzduchem na rozhraní vzduch-pohonná hmota
  - tepelná izolace za přístupu vzduchu
  - vysoký poměr povrch/objem má zmačkaný hadr (nasáklý přepáleným lněným olejem), kupka sena, hromada uhlí
  - katalyzátory (např. směs vodíku/vzduchu a platiny, svítíplyn na platinové černi)
  - triboelektrický jev – statická elektřina
- Proudění, vedení a záření nestačí odvádět samogenerované teplo
- Řetězová reakce: zvýšení teploty o  $10^\circ\text{C}$  zdvojnásobí uvolňování tepla až po dosažení zápalné teploty
- Samovznětivý uhlík – dřevo zahříváné při teplotách  $120^\circ\text{C}$  až  $200^\circ\text{C}$  za nedostatku vzduchu „čeká“ na dodání vzduchu, aby vypuklo v plamen.

## Spontánní vzplanutí člověka

- Charles Dickens *Bleak House* (1731)
- Jonas Dupont *De Incendiis Corporis Humani Spontaneis* (1763)
- Jules Verne *Patnáctiletý kapitán*
- Juraj Jakubisko *Tisícročná včela*
- Uhořený člověk v nedotčené místnosti
- Celistvá noha zbyla po uhořelém

## Spontánní vzplanutí člověka

- Pseudovysvětlení
  - Samovznícení buněčného kyslíku a vodíku (Heymer 1996), pyrotonové částice (Arnold 1995), maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) (Czerny 1996), geomagnetismus, kundalini (vyhřívání z jogy), statická elektřina
- Vysvětlení
  - Christensen AM Experiments in the combustibility of the human body, JOURNAL OF FORENSIC SCIENCES, Vol: 47(3), 466-470, 2002
  - Kremace  $1200^\circ\text{C}$ , ale stačí  $500^\circ\text{C}$
  - Zažehnutí od svičky, cigarety
  - Osteoporóza snižuje teplotu hoření kostí
  - Alkohol spíše jen zpomaluje reakci na zahoření
  - Knotový efekt zkapalněného tělesného tuku (dospělý, neobézní člověk má 15 kg tuku) a oblečení
  - Teplotní gradient, zahoření v sedě
  - Ochrana vnitřních orgánů (nikdy nebyl vnitřek spálenější než vnějšek)

## Teplo [J]

- Pokud vodivě spojíme předměty o rozdílné teplotě, tak se teplo přenáší z teplejšího na chladný předmět
- Přenos tepla
  - **vedení (kondukce):** zvýšení pohybu molekul, iontů, atomů; odvádí teplo od zdroje teplovodivým materiálem
  - **záření (radiace):** elektromagnetické záření  $E = \epsilon \sigma T^4$  [ $W/m^2$ ]; do všech směrů, pokud není absorbováno nebo odraženo
    - $\epsilon$  emisivita
    - $\sigma$  Stefanova konstanta
    - $T$  teplota v Kelvinech ( $^{\circ}C + 273,15$ )
  - **proudění (konvekce):** makroskopický pohyb tekutiny, konvekční proudy (kapaliny i plyny), největší část přenosu tepla při požáru; vede teplo nahoru.

## Rozvoj požáru (nabírání na síle)

- Vyhořené horké plyny se konvekcí hromadí pod stropem, spodní vrstva vzduchu zůstává relativně chladná
- Relativní pozice hořlavých objektů od centra hoření
  - nad: věčkový vzor
  - vedle: horizontální šíření ohně radiací
- Oheň regulovaná hořlavou látkou
  - šíření ohně není omezené dostupností vzduchu, ale dostupností hořlavých látek
- Délka plamenů v rohu  $>$  u stěny  $>$  ve středu místnosti
  - dostatek kyslíku ve středu místnosti = rychlé shoření krátkým plamenem
- Odvod tepla z místnosti nedostačující
  - zahřívání vede k další fázi:

## Překotné až extrémní šíření ohně

- Nazývané také nelineární nebo přeskokové hoření. Situace, kdy naráz vše v místnosti vzplane.
- Nejednotné názvosloví (hasiči\*akademici, Evropa\*USA, košatý je strom života)
- O detailním zařazení rozhoduje poslední pohyb před vypuknutím: vzduch k ohni, vzduch ke kouři, oheň ke kouři, kouř k ohni, kouř ke vzduchu.

## Rozdělení extrémních ohňů

- **Flashover**
  - iniciátorem je **teplo (pohyb horka k plynu)**, objemové vzplanutí
  - horké plyny u stropu dosáhnou zápalnou teplotu ( $600^{\circ}C$ )
  - vyzářují k zemi  $20 kW/m^2$  – i dřevěná podlaha zahojí
- **Backdraft**
  - iniciátorem je ventilace (**pohyb vzduchu k ohni nebo kouři**), opětovné zahoření z nuly (otevření dveří, rozbítí okna)
  - oxidační činidlo (vzduch) získá přístup do prostoru, kde je dostatek zápalných plynů a vznětný podnět ohně (kde oheň doposud neměl dostatek vzduchu, aby se přirozeně šířil)
  - více devastující než flashover
- **Fire gas ignition**
  - iniciátorem je **pohyb plynu/kouře k ohni**
  - vznícení nahromaděných hořlavých plynů a pyrolyzátů (kouře)
    - smoke explosion (např. zpožděný backdraft)
    - flashfire (např. flameover, flashback, rollover).

## Vlastnosti extrémního šíření ohně

- Turbulence promíchává vrstvy plynů
- Hustý bílý kouř z hoření dřeva je vysoce hořlavý
- Oheň ze zapálených plynů se rychle šíří ( $5 m/s$ ), prohořením si otevírá nové zdroje vzdušného kyslíku
- Obzvlášť extrémní situace vzniká, pokud vnější vítr nedovolí uniknout nahromaděným plynům/kouři (a pak hasiči prorazí dveře)
- Stálý vánek nebo pulsní vítr může mít efekt jako rozdmýchávání foukáním při grilování
- Schodištní haly vytváří takové dynamické tlaky, že po vstupu hasičů do budovy se během sekundy okna „vystřelí“ nebo „vsají“ a vnější vítr dokoná zkázu
- Ve vysokých halách si nemusíte všimnout vrstvy hořlavých plynů pod stropem (jiskra)

## Hašení extrémních ohňů

- Efektivně se oheň objektu do velikosti dvoupodlažního domu likviduje v počtu 12 až 14 hasičů
- Odkud vítr vane určuje místo vstupu (lépe mít vítr v zádech)
- Taktika
  - ventilace (více škody než užitek?)
  - confine the fire (spoutat, lokalizovat oheň)
  - pulzní přísun vody ve formě aerosolu ( $3D mlha$ ; pozor na tlačení výbušných plynů do kouta).

## Varovné znamení extrémního šíření ohně

- Kouř rychle nebo pulsně (jako pod tlakem) proudí oknem nebo dveřmi ven
- Vzduch slyšitelně proudí dovnitř živit oheň
- Kouř náhle ztmavne
- Kouř se náhle začne vracet dovnitř
- Rychlý nával horka (až si hasiči dřepnou)
- Náhlé snížení nebo náhlé kolísání hladiny kouře
- Okna jsou silně začouzená a praskají
- Vyšlehávají modré plamínky
  
- Někdy bez varování

## Plně rozvinutý požár

- Oheň regulovaný dostupností vzduchu (ventilací)
- Možný rollover do dalších místností

## Dohořívání (uhasínání)

- Hořlavá látka se spotřebovává, najednou je vzduchu dostatek a oheň je opět regulovaný hořlavou látkou
- Klesá produkce tepla
- Doutnavý oheň dominuje
- Samouhašení
- Pokud plameny utichnou z nedostatku kyslíku, je možný backdraft po otevření dveří.

## Venkovní požáry

- **Jednodušší chování** než v uzavřené místnosti
- Oheň se šíří **konvekci** nahoru ve směru dostupné hořlavé látky (kruhovitě na rovině, v kopci spíše nahoru, za větru po směru větru)
- Možnost vytváření **nových center** (přes hořící větve zahoří strom, vítr přenese jiskry)
- **Pomalé šíření** ohně, protože vzduch stačí odvádět generované teplo (zbývá jen kondukce a radiace)
- Radiační teplo může zapálit i **přes meziprostor** bez hořlavé látky (od jednoho domu zahoří druhý).

## Vyšetřování požáru

- Kde začalo hořet?
- Co bylo příčinou požáru (postup jako u žhářství)
- Právní zodpovědnost, nebezpečné postupy nebo materiály, ztráta pro pojišťovnu
- Faktory šíření ohně, tepla, plamene, kouře?
- Bezpečnost hasičů
- Údaje pro statistiku

## Motivy žhářství dospělých

- Motiv může určit *modus operandi*
  - pomsta (vůči osobě, instituci, skupině, společnosti)
  - vandalismus
  - zisk (pojistka, příprava)
  - zahlazení stop
  - vzrušení, sláva
  - terorismus (publicita)
  - pyromanie

## Motivy žhářství dětí

- Děti
  - zvědavost, hraní si s ohněm
  - vandalismus (peer pressure)
  - reakce na krizi nebo zneužívání
  - hledání pozornosti
  - vyjádření zlosti

## Svědkové a základní informace

- Dokumentace průběhu požáru/hašení
- Od hasičů
  - kdy poplach, příjezd hasičů
  - jak vstup hasičů a použité metody hašení
  - byla exploze, flashover?
- Od očitých svědků (nahrávat, standardizované otázky; svědek může být žhářem)
  - kde oheň začal
  - elektrina vypnula až v průběhu požáru
  - výbuch se ozval před požárem?
- Od majitele
  - co je uvnitř: lokalizace nábytku, přístrojů, hořlavých tekutin
  - byla okna zavřená, dveře zamknuté
  - fotografie, plány
  - historie předchozích požárů.

## Dokumentace požáru

- Jako by se jednalo o žhářství
- Poznámky, nákresy, fotografie, video
- Uzavření přístupu kordonem, bezpečnost
- Prohledávání od nejméně zničeného po nejvíce zničené
  - indikátory ohniska požáru
  - identifikátory žháře (vlámal se, v něčem nesl hořlavou kapalinu, otisky bot)
  - urychlovače ohně
  - věci rozmetané výbuchem.

## Hledání ohniska požáru

- Očití svědci
- Interpretace poškození ohněm (věčkový vzor)

## Věčkový vzor hoření uvnitř bytu

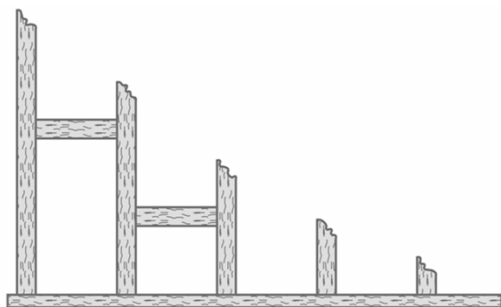


Figure 10.4 A partial V-shaped pattern as revealed in the wooden supports left after the plasterboard cladding of a partition wall has been destroyed by fire

## Věčkový vzor hoření domu



Figure 10.5 V-shaped smoke damage evident when a burnt building is viewed as a whole from the outside

## Hledání ohniska požáru

- Očítí svědci
- Ohnisko bývá nejpoškozenější ohněm
- Konvekce nahoru (nejdůležitější), kondukce přes tepelný vodič, radiace do všech směrů
- Interpretace poškození ohněm (věčkový vzor)
  - změny věčkového vzoru větrem
  - rozšíření pod horizontální obstrukcí
  - flashover zničí věčkový vzor
  - hořící závěs spadne na zem (dropdown) a vytvoří sekundární ohnisko požáru
  - inverzní věčkový vzor na vertikálním objektu (stěna nad odpadkovým košem)
  - ohoření betonové zdi (protipožárních dveří) z jedné strany
- Aktivace jednotlivých alarmů
- Žárovky se vmáčknou v místě největšího žáru.

## Srovnání poškození ohněm

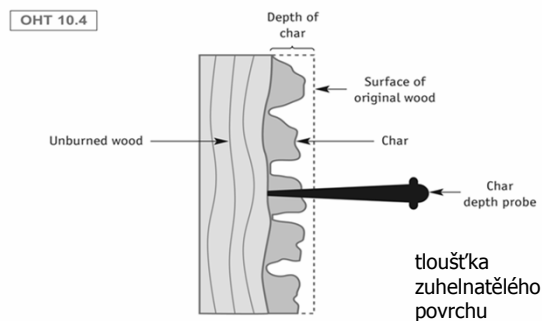


Figure 10.6 Char depth measurement

## Komplikace vyšetřování

- Srovnání poškození ohněm zhatěno účinkem
  - ventilace
  - hasičských aktivit
- Hořlavá kapalina mohla být na daném místě skladována
- Plynová chromatografie (GC) nedokáže individualizovat jednotlivé hořlavé kapaliny.

## Hledání příčiny požáru

- Po nalezení ohniska požáru
  - co byl vznět (elektrické topení poblíž hořlavé látky)
  - žhář může zapalovač odnést s sebou
- Jedná se o žhářství?
- Použití zápalné kapaliny
  - lokalizované zahoření nízko uložených míst (vzor na koberci)
  - ostré ohraničení zahořených míst
  - výpary uhlovodíků z nízkých, ohni-nedostupných míst (zateklo do škvíry), pes, senzor
  - zbytky zápalné kapaliny
- Věci na nesprávném místě, např.:
  - nástroje k vloupání
  - podpalovací materiál
  - otevřené šuplíky
  - odstraněné drahé věci
  - termostat nastavený na horko
  - lupa zaměřená na slunce

## Hledání příčiny požáru

- Více ohnisek
  - hořící plasty a dropdown může mimikovat přítomnost více ohnisek požáru
- Neobvyklé poškození
  - zničené alarmy
  - po vládní
  - pro lepší ventilaci
- Důkaz o zločinu zničen požárem
- Zpomalovací nástroj
  - balón naplněný hořlavou kapalinou nad zdrojem vznětu
- Linie hořlavé tekutiny pro šíření požáru
- Molotovův koktejl
- Chemické vznětky
- Nesrovnalosti výpovědi majitele
- Motiv pro žhářství u někoho s legálním přístupem
- Podobnost s jiným požárem

## Laboratorní testy: analýza urychlovačů hoření

- Identifikace chemického složení urychlovače
- Kvantifikace
- Srovnání s jinými požáry
- Mikrostopy – nesmí přijít do kontaktu s (makro)stopami kvůli kontaminaci
- Benzín, nafta, petrolej, líh
- Metoda
  - trubičkové testy (screening)
  - GC: citlivost, možnost izolovat části směsi; nedokáže individualizovat, proto následováno MS; kontrolní vzorky.

## Benzín a nafta na GC

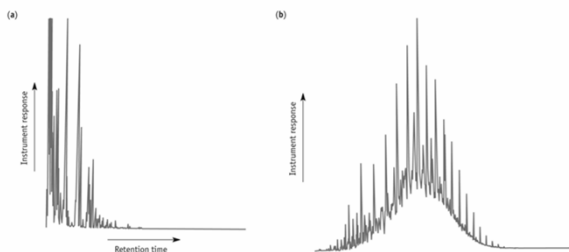


Figure 10.9 Typical gas chromatograms of (a) petrol and (b) diesel oil, note that these were recorded under identical conditions

Supplied by Neil Lamont, Staffordshire University, UK.

## Termická poranění

- Úpal, úžeh, popálení a opaření, vychladnutí, omrznutí

## Nedostatečné chlazení

- Úpal - teplo a vlhko
  - oběhový kolaps – ztráta tekutin, NaCl profúzní pocení; křeče; selhání ledvin
- Úžeh – přímé sluneční paprsky na hlavu
  - meningeální dráždění; edém mozku
- Pitva – překrvení a edém mozku s krvácením do měkkých plen; při delším přežívání nekrózy v mozku, myokardu, kosterním svalstvu, játrech a ledvinách.

## Popálení a opaření

- Teplota vyšší než 50°C (při delším působení)
- Dotykem žhavého předmětu, sáláním, plamenem, světelným zářením (LASERem)
- Stupně popálení
  - I zarudnutí
  - II puchýře
  - III příškvary
  - IV zuhelnatění
- Opaření – popálení horkou tekutinou (kapalina nebo pára).

## Výbuch (exploze)

- <http://www.forensicsciencesimplified.org/explosives/>
- Extrémně rychlá **chemická reakce**, při níž se vyvíjí velké množství **tepla, plynů a světla**.
- Účinek výbuchů je v principu trojí: tlaková vlna, letící trosky a tepelné efekty.
- Vzniká z náhlého uvolnění energie (a uvolnění plynu), destruktivní účinek způsobují zhuštěné plyny.
- Výbušnina – (chemická) látka schopná výbuchu.
- Čím rychleji proběhne výbuch (detonace) trhaviny, tím větší vzniká přetlak plynů oproti okolnímu prostředí. Tato rychlost se označuje jako **detonační rychlost (D)**.

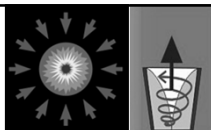
## Výbuch a požár



- Výbuch (exploze) je náhlé, velmi prudké uvolnění energie, obvykle doprovázené lokálním zvýšením teploty a tlaku.
- Výbuch spouští požár
  - Směs vzduchu a hořlavého plynu (zemní plyn)
  - Vzduch a prach (moučný, uhelný)
  - Vzduch a ropné výpary
- Požár vyvolá výbuch
  - Nádoba s hořlavou kapalinou nebo plynem se v průběhu požáru zahřeje
  - Překotné šíření ohně, podobné výbuchu.



## Imploze



- Vbuch, opak exploze, dutý předmět se propadá do sebe (centripetálně) po spirále – vortexu – víru
- Vortex
  - vnějšek je pomalejší než vnitřek
  - těžší předměty ve vodě se nasají dovnitř
- Příklady
  - porušení hermetičnosti aparatury s nízkým tlakem nebo vakuem
  - ponorka a hydrostatický tlak
  - imploze plutonia při nukleárním štěpení spouští vodíkovou bombu
- Demolice se někdy nesprávně nazývá implozí

<http://www.stream.cz/video/489680-jak-vypada-imploze-opak-exploze>

<http://www.stream.cz/video/671371-imploze-sudu>

## Děje při chemických výbuších

- Deflagrace (vznět, explozivní hoření)
  - rychlost pohybu reakční zóny (čela vlny) je **nižší** než rychlost zvuku ve výbušnině
  - prosté spalování
  - výmetné výbušniny
- Detonace (třesk, brizance)
  - rychlost pohybu reakční zóny je **vyšší** než rychlost zvuku ve výbušnině
  - tříštivé výbušniny (třaskaviny).

## Iniciace

- Roznět výbušniny vnějším podnětem (směs síry a chlorátu vybuchne bez vnějšího podnětu – bez roznětky)
- Lokální přehřátí nálože (tlakem nebo teplotou) a následný vznik výbušné reakce.
- Při použití slabšího podnětu (např. slabé rozbušky) mohou nastat tyto případy:
  - výbušnina nevybuchne (rozmetá se beze změny do okolí)
  - dojde k deflagraci
  - u plastických nitroglycerinových trhavin nálož exploduje, ale pouze nejnižší detonační rychlostí se slabým tlakem plynů.

## Roznětky, rozněcovadla

- Dodání impulsu energie (počínového podnětu), pak už běží samo
- Typy
  - rozbuška
  - zápalnice
  - bleskovice
  - elektrický palník
  - roznětnice

## Rozbuška

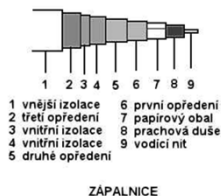
- Pro trhavinové nálože a bleskovice.
- Kovová dutinka s primární a sekundární náplní výbušniny.
- Výbušnina vyplňuje 2/3 délky dutinky a je do ní zalisována, aby nevypadla. Je kryta pojistkou, ve které je otvor pro zážeh náplně.



PRŮMYSLOVÁ ROZBUŠKA

## Zápalnice

- Pro zážehové rozbušky.
- Duše černého zápalnicového prachu je ovinutá niekoľikoma vrstvami textilní príze s izoláciou proti vlhkosti.
- Hoří pomalu.
- Ke spojování zápalnice se zážehovou rozbuškou se používají rozbuškové kleště. Spojení musí být tak dokonalé, aby se zápalnice nedala vytáhnout z rozbušky ani silou 20 N.



## Bleskovic

- K současnému roznětu celé řady náloží připojených sériově.
- Sestává z duše tvořené třaskavinou nebo vysoce brizantní trhavinou, chráněné proti vlhkosti a vnějšímu poškození obalem.
- Hoří rychle - bleskovic se přenáší výbuch rychlostí 5000 až 7500 m/s. Je to v podstatě mnohonásobně prodloužená sekundární náplň rozbušky.



## Elektrický palník

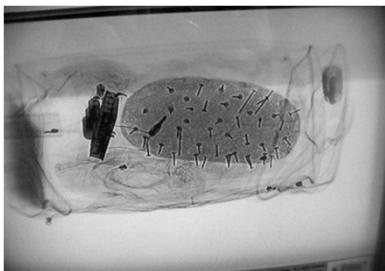
- Dutinka, v níž je uložena a utěsněna elektrická pilulka.
- **Mžikový** elektrický palník sestává z mžikové pilulky, která má přívodní vodiče spojené nakrátko drátkem obaleným zápalnou složí. Elektrická mžiková rozbuška způsobuje roznět ihned při průchodu elektrického proudu. Vnitřek dutinky je mírně kónický, aby rozbuška nevypadávala.
- **Časový** elektrický palník má v dutince vložen kus zápalnice o délce 20 cm pro zpoždění asi 25 sekund. Dutinka je kovová a na obou koncích utěsněna.



## Roznětnice (roznětný strojek)

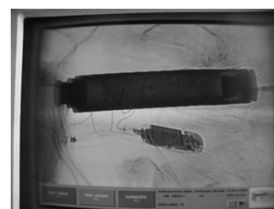
- Zdroj proudu pro elektrický roznět
  - Dynamoelektrická - dynamo se uvádí do pohybu prudkým otočením klíče nebo pružinou
  - Kondenzátorové.

## Rentgen: trhavina s hřebíky, rádiem řízená, s elektrickou rozbuškou.



## Trubková bomba

- Kovová trubka, na obou stranách zakončená pevnou uzávěrou. Jako náplň se používají nejrůznější výbušniny
- Vysoká razance
- Jednoduchá konstrukce a vysoká pravděpodobnost úspěšného odpálení
- Siemens ME45.



## Papiňák

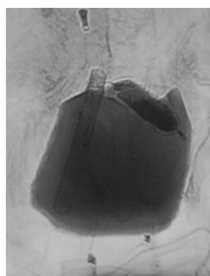


## TATP triacetone triperoxide

- Přezdíváné Satanova matka
- Aceton, peroxid, kyselina
- Exploze obdobně jako airbag neprodukuje teplo
- Látka není odhalitelná pomocí letištních přístrojů založených na detekci dusičnatých látek
- Použito teroristy: "shoe bomber" Richard Reid (2001), Izrael, Londýn (2005), Paříž (2015)

## Kapalinová slož

- Plastický kanýstr s tekutou složkou
- Zkumavka s gelovou složkou
- Ve zkumavce je tepelná spirála, jež zahřátím přivede k výbuchu gelovou složku
- Nokia 5110.



<http://jandys.blog.cz/0603/bomby-pod-rentgenem>

## Parametry výbušnin

## Citlivost k nárazu

- Schopnost detonovat při počínovém podnětu
- Snížení citlivosti
  - zvýšením tlaku
  - přidáním pružné vrstvy: kaučuk, kafr, parafin, grafit
- Zvýšení citlivosti
  - tvrdé, hranaté ostré látky
- Stanovuje se na Kastově padacím kladivu, simulujícím náraz tvrdého předmětu dopadajícího naplocho na malý vzorek výbušniny.
- Měří se výška, při níž závaží o hmotnosti 2 kg způsobí při dopadu explozi výbušniny. Citlivost některých výbušnin na Kastově padacím kladivu:

trinitrotoulen	100 cm
černý prach	80 cm
trinitrofenol	70 cm
hexogen	35 cm
pentrit	30 cm
nitrocelulosa (13,4% N)	15 cm
nitroglykol	8 cm
nitroglycerin	5 cm
azid olovnatý	4 cm
řáskavá rtuť	3 cm.

## Detonace

- Postupné **šíření výbuchu v náloži** výbušniny od místa, kde výbuch vznikl
- Detonace zachvacuje celou nálož v stotisícině sekundy a je možné výbuch považovat za okamžitou přeměnu v plyny o vysoké teplotě a tlaku
- Detonační vlna se ve výbušnině šíří rychlostí od 1 km/s do 9 km/s.

## Čelo detonační vlny

- Hranice mezi částí nálože, která se již přeměnila v plyny a částí nálože dosud procesem výbuchu nezasaženou.
- Bezprostředně za čelem detonační vlny dochází k uvolnění energie a k přeměně výbušnin v plyny.

## Stabilita detonace

- Schopnost detonovat po celé délce nálože neměnnou detonační rychlostí
- Kritický průměr (= dolní kritický průměr) - nejmenší průměr, při kterém může podlouhlá nálož určité délky detonovat; zjišťuje se empiricky
- Při průměru nálože větším než je dolní kritický průměr dochází k **nestabilní** detonaci, která nedosahuje své maximální detonační rychlosti. Zvětšováním průměru nálože se detonační rychlost zvyšuje až ke svému maximu, které leží v horním kritickém průměru (průmyslové trhaviny 10 cm, vojenské výbuštiny 1 cm, azid olovnatý 1 mm, TNT 9 mm).
- Nad horním kritickým průměrem je detonace **ideální** – její rychlost se již nezvyšuje (při dané hustotě, hrubosti složek a jejich promíchání)
- **Metastabilní** detonace nastává u průmyslových nitroglycerinových plastických trhavin. Při použití běžné rozbušky dojde u těchto trhavin ke vzniku pouze nižší detonační rychlosti (1500-4000 m/s). Teprve při roznětu malou přídavnou náložkou probíhá detonace maximální rychlostí (5000-7000 m/s).

## Deflagrace - výbuchové (explozivní) hoření

- Šíří se výbušninou menší rychlostí než detonace.
- Stejný tlak ve výbušnině, na jejím povrchu a v plynech, které výbušninu obklopují.
- Výbušná přeměna probíhá tak pomalu, že vzniklé plyny stačí z místa rozkladu odtékat bez výraznějšího vzestupu tlaku.
- Charakteristické pro střeliviny, výjimečně pro trhaviny zapálené v uzavřeném prostoru.
- Při velmi dobrém uzávěru výbuštiny může tlak plynů prudce stoupat až ke kritické hranici a trhavina může nakonec detonovat.

## Energie, výkon, využitelnost výbuchu

- Tlakové síly plynů se projevují jako mechanická síla výbuchu. Energie skrytá ve výbušnině je mnohem nižší než energie hořlaviny. Benzin obsahuje 10 krát více E než TNT. Hořlavina potřebuje ke svému hoření vnější kyslík, který odebírá z atmosférického vzduchu; výbušnina nepotřebuje žádné vnější látky. Kyslík je uložen v molekule výbuštiny (v NO<sub>2</sub> skupině) nebo ve formě oxidčovadla ve směsi. Hoření probíhá relativně pomalu, výbuch se šíří 10 milionkrát rychleji.
- Energie výbuchu lze zvýšit přidáním práškových kovů (Al)
- Výkon výbuchu náloží vzrůstá přiměřeně s jejich velikostí
- Využitelnost energie
  - u volně odpálené výbuštiny se k trhavému účelu využije okolo 15% E
  - více u nálože uzavřené
  - nejvíce u nálože kumulační, kde se veškerá energie soustřeďuje do jediného bodu - kumulačního paprsku.

## Objem výbušných zplodin

- Objem plynů v litrech vzniklých výbuchem 1 kg výbuštiny. Objem vzniklých plynů je kolem 800 l/kg.
- Skutečný objem plynů je v důsledku rozpínání působením vysoké teploty asi desetkrát větší.

## Teplota vzbuchu

- Nejnižší teplota, při níž výbušnina samovolně vybuchuje. Stanovuje se empiricky pomalým zahříváním výbuštiny.

Teploty vzbuchu některých výbušnin:

azid olovnatý	340°C
trinitrotoluen	295°C
černý prach	290°C
hexogén	230°C
pentrit	215°C
nitrocelulosa	190°C
nitroglycerin	170°C
třaskavá trut'	165°C

## Výbuchová teplota

- Maximální teplota, kterou mohou dosáhnout plyny při výbuchu.
- Stanovuje se výpočtem. Ze známé hodnoty výbuchové teploty se pak dále vypočítávají detonační tlaky a skutečný objem plynů.
- Hodnoty dosahují 1500-7000°C.

## Výbuchové teplo

- Udává množství energie, které se uvolní při explozi 1 kg výbušniny. Stanovuje se výpočtem z termochemických konstant. Hodnoty se uvádějí v kJ/kg nebo kcal/kg a pohybují se nejčastěji kolem 1000 kcal/kg.

## Kyslíková bilance

- Udává kolik gramů kyslíku na 100 g výbušniny chybí nebo přebývá k úplné oxidaci výbuchových plynů.
- Rozlišujeme výbušniny s negativní (nedostatek kyslíku), nulovou (vyrovnanou) a kladnou (přebytek kyslíku) kyslíkovou bilancí.
- Většina výbušnin má kyslíkovou bilanci negativní:

tritol	-74%
hexogen	-21,6%

Kladnou bilanci má  
nitroglycerin +3,4%  
oxidační látky +20%

Nulovou má nitroglykol

## Uvolnění energie výbuchem

- Jaderné
- Mechanické
  - nádoba se stlačeným plynem (pneumatika)
- Termální
  - kontakt studené a horké kapaliny (voda a kujné železo)
- Elektrické
  - intenzivní tepelný efekt vybití náboje přes izolant
- Chemické
  - volné atomy se nově seskupují za uvolňování tepla.

## Rozdělení výbušnin

- Podle účinnosti (deflagrující a brizantní)
- Podle způsobu roznětu (přímé a nepřímé)
- Podle bezpečnosti (citlivé, netečné, důlně bezpečné)
- Podle způsobu použití (střeliviny, trhaviny, třaskaviny)
- Podle chemického složení (aromatické nitrolátky, nitraminy, dusičné estery, směsné trhaviny, třaskaviny)
- Podle konzistence (kondenzované a dispergované).

## Rozdělení výbušnin podle způsobu použití

## Deflagující (výmetné) výbušniny

- Za obvyklých okolností nedetonují
- Pokud nejsou v pevném obalu, tak shoří namísto vybuchnutí
- Pushing
- Pohonné látky u zbraní
- Směs vzduchu a topného plynu; vzduchu a mouky; vzduchu a uhlénoho prachu
- Střeliviny

## Střeliviny

- Přímým zásahem plamene se zapalují a relativně rychle hoří, používají se v nábojnicích a výmetných náplních palných zbraní (černý prach, nitrocelulosové a nitroglycerinové střelné prachy, výbušné ledky)
- Větší množství po zapálení v uzavřeném prostoru přechází ve výbuch malou rychlostí (300-1000m/s)
- Citlivé na tření a nárazy.

## Tříštivé výbušniny (třaskaviny)

- Za obvyklých okolností detonují
  - třesk, tříštící, brizantní účinek shatter
  - není čas na elastickou deformaci
- Vojsko
  - miny, bomby, granáty (střepiny z obalu)
  - PETN, RDX
- Průmysl
  - ANFO ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), dynamit, směs nitroglycerínu a nitrocelulósy.

## ...třaskaviny

- Jsou extrémně citlivé látky nebo směsi, které i při nepatrném podnětu mohou vybuchovat (u některých může být podnětem sluneční světlo či slabé akustické vlnění)
- Iniciační schopnost využita v rozbušce: svou explozí mohou strhnout k výbuchu i méně citlivé trhaviny.
- Azid olovnatý a stříbrný, třaskavá rtuť a stříbro, diazolatky, organické azidy, acetylidy, tetrazen, tricinát olovnatý.

## Trhaviny

- Málo citlivé, aby se vyvolala jejich detonace, je nutno použít detonaci jiné výbušniny (rozbušky a bleskovice). Manipulačně bezpečné: obvyklými nárazy, třením nebo průstřelem z pušky nemohou explodovat
- Detonace: silné rázové vlny, používají se k destrukčním účelům.
- Patří sem aromatické nitrolátky (tritol, kyselina pikrová, tetryl, hexyl), nitroestery (nitroglycerin, nitroglykol, pentrit), cyklické nitraminy (hexogen, oktogen) a jejich vzájemné kombinace nebo směsi s okysličovacími (dusičnany, chlorečnany, chloristany).

## Trhaviny

- Směs
- Malé množství vznětlivější primární výbušniny = výbušniny počínové = detonátoru = třaskaviny (třaskavá rtuť, azidy kovů Pb, Hg, Ag)
- Velké množství sekundární výbušniny (pohonná hmota, propellant).

## Rozdělení výbušnin podle konzistence

- Kondenzované
  - kapalné a tuhé
  - ničivý účinek deflagrace: ohýbavý účinek, teplo
  - ničivý účinek detonace: tříštivý a trhavý účinek, kráter
- Rozptýlené (dispergované)
  - plyn, aerosol (moučný prach)
  - ničivý účinek deflagrace: přemístění místo roztrhání, centrum exploze je relativně bezpečné
  - (ničivý účinek detonace: potrubí, výtahová šachta)



## Složení výbušnin – redox směsi

- Oxidační část přijímá elektrony
  - anorganické nitráty
  - perchloráty
  - chloráty
- Redukční část (palivo) daruje elektrony
  - uhlík
  - síra
  - uhlovodíky
  - polysacharidy
  - kovový prach (Al)
  - střelný prach (saltpetr, salnytr, ledek  $\text{KNO}_3$  + dřevěné uhlí + síra)
  - ANFO ammonium nitrate fuel oil,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (v dolech).

## Složení výbušnin – syntetické (plastické) směsi

- Sloučeniny s částmí oxidujícími a částmí redukujícími
- Dramatičtější výbuch
- TNT (2,4,6-trinitrotoluen)
- RDX (cyklotrimethylenitrinamin)
- Dynamit = nitroglycerin + křemelina kieselguhr
- Nitrocelulóza (střelná bavlna)
- Tetryl (2,4,6-trinitrofenylmethylitrinamin)
- HMX (cyklotetramethylenitrinamin)
- PETN (pentaerythritol tetranitrát)
- SEMTEX (PETN + RDX)
- CL-20 (Hexanitrohexaazaisowurtzanit), zatím nejúčinnější výbušnina.

## Semtex

- Detonační rychlost: 5000 m/s
- Rovnováha kyslíku: -44.0%
- Kritický poloměr: 15 mm
- Export: Lybie, Vietnam, Guinea (1 Gg)
- Stanislav Brebera, Semtín, VCHZ Synthesia, Explosia
- 250 g stačí na letadlo (Pan Am 103)
- Bývalo obtížně zjistitelné, dnes ethylenglykol dinitrát (nitroglykol) a kovové kódy.

## Druhy Semtexu

	H hardening	A blasting
PETN pentaerythritol tetranitrát	49,8%	94,3%
RDX Cyklotrimethylen trinitramin	50,2%	5,7%
Barvivo	Súdán oranž I	Súdán oranž IV
Antioxidant	N-fenyl-2-naftalamin	N-fenyl-2-naftalamin
Změkčovadlo	N-oktylfthalátbutylcitrát	N-oktylfthalátbutylcitrát
Vazadlo	Styrenbutadienová guma	Styrenbutadienová guma

## Vyšetřování místa výbuchu

- Jako by se jednalo o zločin
- Uzavřít
  - kordon ve vzdálenosti 1,5 krát větší než nejvzdálenější úlomek, klobouček trubkové bomby bude dále)
- Dokumentace, výslech svědků...
- Rozdíly od jiných míst činu:
  - vysoké riziko (protiteroristická jednotka, pyrotechnik)
  - destrukce a oheň
  - co explodovalo a proč?
    - tříšť, suť, drť (důležité úlomky mohou být malé a daleko od centra výbuchu)
    - zbytky detonátoru, časovače nebo dálkového ovládání, otisky prstů na lepicí pásce
    - eliminace přirozených příčin.

## Možnosti testování před

- Cvičení psi
- Iontová mobilní spektrometrie (IMS)
  - na letištích
  - ionizace vzduchu  $^{63}\text{Ni}$ , detekce záporně nabitých fragmentů dusíkatých látek
  - Organické výbušniny nemají ionty, proto dopování  $\text{Cl}^-$  (dichlormethan) a detekce shluků s chlorem
  - Výbušniny v tekutinách rozpoznat nelze

## Možnosti testování po

- Kapilární elektroforéza

## Charakteristika poškození výbuchem

- Směr putování úlomků – extrapolací ohnisko
- Místo maximální škody (ohnisko)
- V ohnisku největší koncentrace povýbuchových zplodin, laboratorně zkoumatelné (kondenzované/rozptýlené, detonace/deflagrace)
- Místní tlak v průběhu výbuchu
- Množství nálože  $W=d^3/16$  ( $W$  v  $\text{kg}$ ,  $d$  v  $\text{m}$ ).

## Poranění při explozi

- Při explozi vzniká teplo, plyny a tlak
- Poranění
  - tlakovou vlnou
    - pozitivní tlaková vlna následována negativní (zpětnou) vlnou (ve vodě zpětná vlna není)
    - rozmetání těla, trhliny plicních sklípků, krvácení do plic; roztržení kochley (maz separovaný od bubínku zeslabuje účinek vlny)
  - rozmetaným obalem výbušniny
  - padající úlomky zdiva
  - vysoká teplota
  - jedovaté plyny.

## Improvised explosive device (IED)

- V letadle méně škodí, než byste čekali
  - TWA let 840, duben 1986 (4 mrtví)
  - Pan Am let 830, srpen 1982 (1 mrtvý)
  - Philippines Airlines let 434, prosinec 1994 (1 mrtvý)
- Proč je pro teroristy výhodnější rozdělat oheň na záchodě?
  - 7.března 2008, China Southern Airlines let CZ6901, z Urumqi v provincii Xinjiang do Pekingu.

## Pan Am flight 103

- 21.12.1988 Boeing 747 spadl z nebe
- Frankfurt-Londýn-New York
- Velké části spadly u Lockerbie, drobné úlomky na ploše 2200  $\text{km}^2$
- 259 mrtvých na palubě, 11 mrtvých obyvatel Lockerbie
- První týden po pádu letadla se 5000 anglických policistů podílelo na vyšetřování
- 4 000 000 úlomků nalezeno, 85% strukturních částí letadla rekonstruováno
- Korozí ani únava materiálu nebyly příčinou, byl to výbuch jednoho z kufrů v zavazadlovém prostoru
  - mikrostopy výbušnin
  - tištěný obvod ve zbytku radiokazetofonu vražen do pláště letadla
  - vlákna
  - simulační experimenty.



## Rekonstrukce

- Kufř byl naložen ve Frankfurtu, v kufři byl oblek z Malty
- Libyjec Abdel Baset Ali Mohamed AlMegrahi si koupil oblek v maltském butik
- 31.1.2001 odsouzen na doživotí

## Laboratorní analýza výbušnin

- Obsahuje vzorek výbušninu?
- Jaké je chemické složení výbušnin?
- Kvantifikace, srovnání s jinými výbuchy.
- Stopové množství – např.: rezidua na rukou odpalovače se zpracovávají jinde než „bulk“ (vážitelné, viditelné) vzorky.

## Arzenál metod

- Fyzikální testy výbušných schopností
- Kapkový test
- Světelný a skenovací elektronový mikroskop spojený s EDX (radioaktivní rozptyl)
- IR mikroskop
- Chromatografie TL, GC-MS, HPLC, IC
- Atomový absorpční mikroskop.

## Výběr metody

- Kolik toho máme?
  - fyzikální testy jen na bulk vzorky
- Co hledáme?
  - pro iontové oxidovadlo  $\text{NO}_3^-$  použijeme iontovou chromatografii
  - pro volatilní organické látky (nitroglycerin) použijeme plynovou chromatografii
- Jaká je matrice?
  - pro vzorek půdy z kráteru po výbuchu bude potřeba předčištění
- Kontrolní vzorky
  - matrice, bezprostředního okolí odběrového a skladovacího místa pro vyloučení falešné positivity.

## Důležitost kontrolních vzorků

- Vatovým kartáčkem byly odebrány vzorky z rukou podezřelého z nakládání s výbušninou
- Obhajoba
  - pozitivní reakce na vatu kartáčku
  - pozitivní reakce z tekutiny pro navlhčení kartáčku
  - pozitivní reakce z laboratorního stolu nebo rukavic
- Obžaloba se spolehne na laboratoř
  - kontrolní vzorek z navlhčeného kartáčku je negativní
  - kontrolní vzorky z laboratorního stolu, zkumavek, rukavic jsou negativní
  - negativní kontrola (blank) je negativní
- Důležitost značení a vyloučení kontaminace.

## Možnost irelevantních pozitivit

- Ruce střelce z povrchových dolů
- Potřesení rukou se střelcem
- Území dříve částí vojenského prosoru
- $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (ANFO) je součástí hnojiv.

## Birmingham six

- Bombový atentát (Prozatímní IRA) ve dvou hospodách v centru Birminghamu (Mulberry Bush a Tavern) , 21 mrtvých, 162 zraněných.
- Hugh Callaghan, Patrick Joseph Hill, Gerard Hunter, Richard McKenny, William Power a John Walker odsouzeni na doživotí na základě nesprávné interpretace forenzního testu.
- Griessova diazotizační reakce – Griesovo reagens (naphthylenediamin dihydrochlorid, sulphanilamid, kyselina fosforečná) reaguje s  $\text{NO}_2^-$  za vzniku růžové barvy.

## Povýstřelové zplodiny

## Povýstřelové zplodiny

- Odkud (z jaké vzdálenosti) se střelelo?
- Byla konkrétní osoba v kontaktu se střílející palnou zbraní?
- Byla konkrétní osoba v blízkosti střelby?
- Došlo v určitém prostoru ke střelbě?

## Povýstřelové zplodiny

- Kovové i nekovové částice
  - často submikroskopických rozměrů,
  - vzniklé hořením prachové náplně a zápalkové složce
  - vzniklé průchodem střely hlavní zbraně (vymetání nečistot ze zbraně)
  - zbytky nespáleného střelného prachu
  - zbytky zápalkové složce, oděry pláště střely, oxidační zplodiny (rez) ze zbraně i střeliva, zbytky konzervačních prostředků
- Povýstřelové zplodiny do určité míry sledují směr střelby, ale jejich část uniká i závěrem zbraně nebo jinými místy zbraně do stran či dozadu
- Mohou ulpět na ruce, obličeji, ve vlasech či vousích střelce, na jeho oděvních součástkách, na předmětech v okolí a na osobách přítomných v blízkosti střelby.

## Chemické složení povýstřelových zplodin

- Liší se u různých výrobců střeliva : olovo, antimon, cín, baryum, síra, ale do určité míry i vápník a křemík. Nečistoty: měď, nikl, zinek, železo
- Vzájemná kombinace prvkového chemického složení a morfologie částec povýstřelových zplodin (zjištěná pomocí elektronového skenovacího mikroskopu) je jedinečná pro zjištění, že zkoumaná částec patří přísluší povýstřelovým zplodinám.

## Osud povýstřelových mikrostop

- Největší částice se rychle z povrchu ztratí; přetrvávají pouze částice malé až střední, zpravidla menší než 10 mikrometrů
- Osoba zajišťující povýstřelové zplodiny před touto činností nesmí manipulovat s palnými zbraněmi, střelivem a zejména s vystřelenými nábojnicemi.
- Při zajišťování povýstřelových zplodin z těla nebo oděvních součástek osob, které byly zadrženy některou ze služeb Policie ČR (např. zásahovou jednotkou), je nutné počítat s možností přenosu povýstřelových zplodin z rukou a oděvních součástek těchto pracovníků na zadržovanou osobu.

## Informace o případu

- Přesný popis případu
- Čas zajištění podezřelého
- Čas odběru vzorků
- Má osoba legální přístup ke zbraním a střelivu?
- Provedla osoba po střelbě osobní hygienu?
- Jaké oděvní součástky měla osoba oblečeny a zda je čistila
- Rukavice, maska, klobouk
- Kolikrát bylo vystřeleno
- Okolnosti zadržení osoby.

Mazánek, Suchánek

The discharge of a firearm produces a wealth of physical and chemical evidence, a portion of which is deposited on the hands of the shooter. Organic components of GunShot Residue have particular advantages with firearm discharge and this evidence can be used to bolster exciting forensic methods.

01

OGSR condensates are lipophilic and easily stick to the skin



02

OGSR condensates have not been shown to be prone to secondary transfer



03

OGSR tests multiple target compounds and families of compounds



04

OGSR is generally not found readily in the atmosphere or environment



## Zajištění povýstřelových zplodin

- Olepení povrchu na speciální terčiky s uhlíkovou adhezí vrstvou
- Stěry na vatové tampony
- Výsavky pomocí filtračního nástavce ELAVAK
- Stěry na čistý hřeben s nataženou gázou
- Zaslání oděvů a věcí *in natura*

## Vyšetření povýstřelových zplodin

- Důležité faktory
  - čas
  - přenos
  - porovnávací vzorky povýstřelových zplodin
- Elektronový skenovací mikroskop s mikrosondou, která umožňuje zjistit prvkové složení zkoumaných částic.
- Vatový stěr s povýstřelovými zplodinami je zkoumán metodou rentgenové fluorescenční analýzy nebo po spálení tamponu metodou emisní spektrální analýzy.
- Starší metody byly nespecifické a byly založeny na jednoduchých chemických reakcích
  - parafinový test spočívá v získání parafinového odlitku části pokožky ruky osoby podezřelé ze střelby. Odlitek se zhotoví zhruba z místa ruky mezi základními klouby palce a ukazováku (i když odlitek lze získat i z jiných míst ruky). Na odlitku se potom chemickými metodami zjišťuje přítomnost nespálených zbytků střelného prachu.
  - zkoumání nespálené částičky střelného prachu v kapce glycerinu po zahřátí pod mikroskopem - změna barvy do žlutozelené, pak vytvoření odparku žlutohnědé barvy.

Děkuji vám za pozornost!