

Je vždy výbuch detonace?

Mgr. Petr Nakládal, petr-nakladal@email.cz

Souhrn

Text přednášky je věnován problému principu výbuchů včetně vysvětlení rozdílu mezi explosivním hořením a detonací. Jsou zde vysvětleny některé fyzikální vlastnosti látek, které mohou vybuchnout a také občas nesprávně pochopené pojmy z teorie výbušnin. Zvláštní kapitolou je využití výbuchů v civilní praxi s příklady konstrukcí speciálních náloží. Prezentovány jsou i příklady z minulosti, kdy nevhodnou manipulací nebo smícháním zdánlivě neškodných chemikálií došlo k jejich výbuchu.

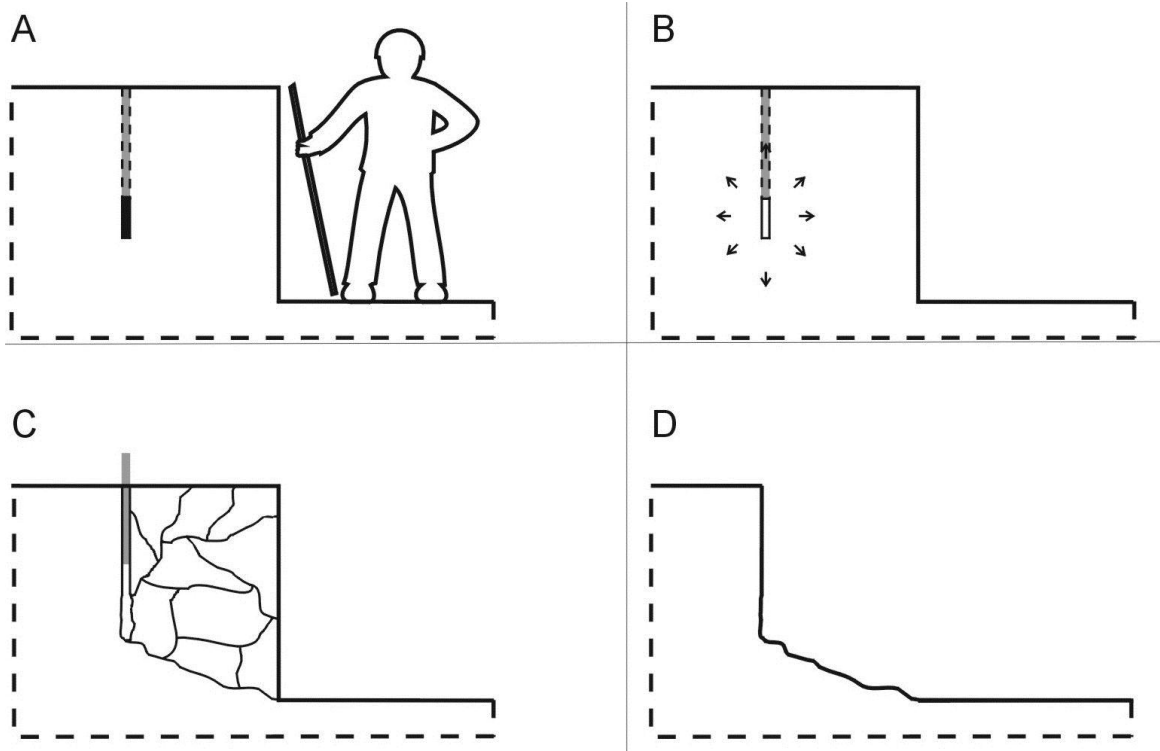
1. Úvod

V průběhu přednášek o průmyslových haváriích jsem si všimnul, že poměrně často přednášející dával rovnost mezi výbuchem a detonací. Často bylo slyšet „Byla to hrozná detonace“. Podle obrázků se ale evidentně jednalo o explosivní hoření. Bylo zřejmé, že přednášející neumí odlišit tyto dva pojmy. Na obranu přednášejícího je nutné podotknout, že vlivem nedokonalosti našeho ucha a vzdálenosti od místa výbuchu jsou pro nás akustické projevy explosivního hoření a detonace stejnocenné i když se jedná o dva fyzikálně rozdílné principy (je to rána jako hrom). O jak rozdílné pojmy se jedná, mohu prezentovat na mně blízkém principu trhacích prací v horninovém masivu pomocí látek s explosivním hořením (střelný prach) a látek (trhavin) působících na horninu detonací (Permonex, Perunit, Danubit ap.). Pro zvýraznění rozdílu považuji za vhodné nejprve popsat účinky střelného prachu (explosivní hoření) na horninový masív.

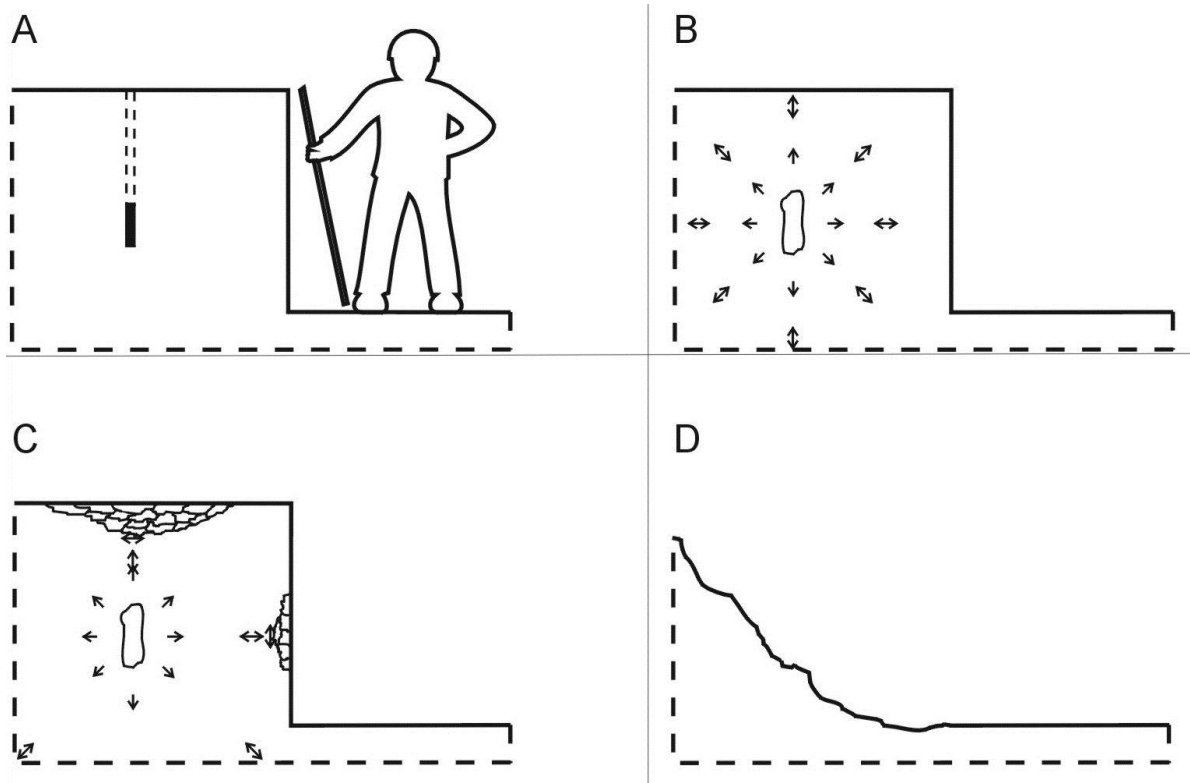
2. Explosivní hoření vs. detonace

Předpokládáme ideální stav, kdy je nálož střelného prachu umístěna na čelbě vývrtnu v homogenní izotropní hornině, působí pouze proti volným stěnám a je dobře utěsněna ideální ucpávkou (šedě) chovající se jako horninový masív (viz obr. 1, A). Po iniciaci nálože střelného prachu se vlivem jeho hoření zvyšuje teplota a tlak uvnitř vývrtnu (B). Čím je teplota a tlak vyšší tím rychleji střelný prach hoří. Vliv velmi subtilní rázové vlny vzniklé explosivním hořením střelného prachu však vzhledem k nepoměru mezi rychlostí jeho hoření a rychlostí zvuku v hornině vymizí v oblasti vývrtnu. Má to však za následek drobné podrcení hornin v jeho těsném okolí. V malém prostoru omezeném stěnami vývrtnu vzniká obrovský tlak, jenž vytlačuje ucpávku z otvoru. Vyvolaný tlak v malém prostoru okamžitě namáhá horninu mezi vývrtem a volnou plochou na tah (C). Hornina začíná směrem od vývrtnu praskat, a přitom využívá drobné diskontinuity vlastní stavby (krystalické plochy, zkameněliny, drobné trhlinky). V tomto okamžiku povoluje sevření ucpávky a uvolněným prostorem dochází k unikání tlaku plynů vzniklých po hoření střelného prachu, vytlačování ucpávky a vymetení drobné horninové drtě vysokou rychlostí ven z vývrtnu. Tlakové trhliny pak prostupují celou horninou od vývrtnu, až dosáhnou volné stěny. Zbytkový tlak plynů proniklý z vývrtnu do puklin pak vymete rozrušenou horninu směrem od vývrtnu do volného prostoru. Tím je práce střelného prachu ukončena (D).

Detonace trhaviny pracuje ale s úplně odlišným fyzikálním principem. Opět tedy předpokládáme ideální stav, kdy trhavina je umístěna na čelbě vývrtnu v homogenní izotropní hornině a působí pouze proti volným stěnám (viz obr. 2, A, ucpávka není nutností). Detonací trhaviny v časovém okamžiku v řádu prvních milisekund vznikne rázová vlna přecházející z prostoru vývrtnu do horniny (na B dvoušipka). Pro nejúčinnější přenos energie rázové vlny do horniny je nutné, aby rychlost detonace trhaviny byla přibližně stejná jako rychlost zvuku v hornině. Rázová vlna se šíří horninou směrem od vývrtnu všemi směry rovnoměrně hlavně



Obr. 1: Práce střelného prachu v hornině.



Obr. 2: Práce trhavin v hornině.

jako vlna podélná. Příčné vlnění vyvolané detonací je nyní proti vlně podélné zcela zanedbatelné. Vlivem setrvačné hmotnosti materiálu je hornina v tomto okamžiku namáhána hlavně na tlak (jednoduchá šipka). Tlaková pevnost hornin je však vysoká, a proto se s horninou ještě nic neděje. Když rázová vlna dorazí k volné stěně, dojde k jejímu rozštěpení na tři komponenty (C). Jedná se o vlnu podélnou a příčnou odraženou zpět do horniny a o vlnu podélnou procházející do vzduchu (příčná vlna se vzduchem nešíří). Protože energie jednotlivých komponent závisí na způsobu šíření vln a poměru akustických vodivostí prostředí, lze předpokládat, že směrem zpět do horniny se odrazí větší část energie ve formě vlny příčné a podélné, které začnou namáhat horninu i na tah. Jen menší část energie je odvedena vzduchem jako vlna podélná. Pevnost hornin v tahu je poměrně malá, proto dochází ke vzniku trhlin směrem od volné plochy k vývrtnu (obr. 3). Hornina je tak směrem od volné plochy rozrušována a směrem od vývrtnu namáhána tlakem plynů po detonaci trhavin (na obr. 2 jednoduchá šipka). V okamžiku, kdy zbytek rozrušovaného horninového masívu není schopen udržet tlak plynů, je podrcená hornina vymetena směrem od vývrtnu do volného prostoru. Tím je práce trhavin ukončena (D).



Obr. 3: Práce trhavin ve skalním masivu. Dobře je pozorovatelná fragmentace horniny směrem od lomové stěny. (Zdroj: katalog trhavin Explosia Semtín)



Obr. 4: Ušlechtilá kamenická výroba. Vylomení bloku horniny pomocí střelného prachu. Je vidět vymetení ucpávky. (Zdroj: katalog trhavin Explosia Semtín)

Z uvedeného popisu je na první pohled patrné, že rychlost explosivního hoření (střelný prach 0,4 km/s) je násobně menší než rychlost detonace trhavin (DAP 1,5 km/s, skalní a důlní trhavin 3 až 6 km/s, Semtex a TNT 7 km/s). Na rozdíl od trhavin, kdy účinek detonace prostupuje celou horninou (obr. 3), je vliv rozpojování pomocí střelného prachu pro horninu šetrnější. Proto se ho často používá při ušlechtilé kamenické výrobě (vylamují se celé neporušené bloky, viz obr 4) odběru vzorků hornin, minerálů a zkamenělin. „Pozvolné“ hoření střelného prachu nebo látek založených na podobném principu (okysličovadlo hořlavina a případně stabilizátor hoření namleté na prachové částice a smíchané ve stanovených poměrech, případně látky na bázi střelné bavlny) mají rozsáhlé využití. Pokud pominu zábavní pyrotechniku tak na principu explosivního hoření jsou založeny nejen náboje do zbraní všeho druhu (výmetná náplň) ale také raketové motory na pevné palivo, trhací nýty v raketových systémech, airbagy v autech, zápalky Většina výbuchů, která byla prezentována na předcházejících TVIP byly hlavně na bázi explosivního hoření směsi vzduchu a hořlaviny (obr. 5). Vlivem dusíku v atmosféře přecházejí tyto směsi velmi neochotně do detonace. Naopak směsi s kyslíkem namíchané ve správném poměru lze přivést do detonace velmi snadno. Svářečský efekt detonace při seřizování plamene znají velmi dobře. Mimochodem filmové efekty simulující výbuchy využívají velmi pomalého explosivního hoření směsi střelného prachu s naftalenem, naftou nebo kerosinem (obr. 6). Mechanické účinky těchto „výbuchů“ jsou tak slabé, že poblíž stojící kaskadéři musí být pro lepší efekt vyhazováni do vzduchu katapulty.



Obr. 5: Výbuch – explosivní hoření – chemička Litvínov (zdroj TVIP).



Obr. 6: Filmový výbuch, 30 kg trhaviny a 6 kubíků kerosinu (zdroj internet).

Detonace trhaviny je poměrně přesně definovaný fyzikální jev s rozsáhlým jak civilním, průmyslovým tak vojenským využitím. Bohužel vlivem byrokracie je civilní a průmyslové využití trhaviny významně potlačováno. Podle vlastních zkušeností trvá rok po zahájení administrativní činnosti na projektu trhacích prací, než je umožněno na lokalitě použít výbušniny. Látky schopné detonace (Pentrit, dusičnan amonný, TNT) bývají v průmyslových výbušninách používány samostatně nebo ve směsi s různými stabilizátory a urychlovači. Pokud na látku schopnou detonace (trhavinu) působíme patřičně intenzivní adiabatickou kompresí (iniciace trhaviny, roznět) tak se tato látka během několika milisekund rozloží na směs plynů. Protože chemické látky schopné detonace jsou na bázi uhlovodíků (nejčastěji peroxidy, nitráty a organonitráty) pak tato plynová směs obsahuje mimo vodík, uhlík a dusík také velké procento kyslíku. V malém prostoru pod obrovskou teplotou v řádech tisíců stupňů celsia proběhne opět v milisekundách oxidace vodíku na vodu, uhlíku na oxid uhelnatý a uhlíčitý a dusíku na nitrozní plyny. V milisekundě se tak z kilogramu výbušniny uvolní energie srovnatelná s výkonem klasické elektrárny. Vlivem prudké adiabatické expanze dojde ke vzniku rázové vlny, která se začne šířit do okolí zpočátku rychlostí detonace trhaviny, posléze rychlostí zvuku v dané látce (obr. 7). Jedno civilní využití rázové vlny při těžbě kamene bylo popsáno v odstavci výše.

Málokdo ale ví, že vlastní výbuchové energie trhaviny lze v civilním životě a průmyslové praxi použít i jinak než k destrukci objektů. V dobách dávné totality se využíval posuvný účinek trhaviny nazvané DAP (dusičnan amonný a palivo) k hnojení polí (viz film Trhák) k vytváření drenážních zářezů nebo rázová vlna z tzv. bleskovic (Pentrit) k plošnému kácení stromů. Tlakové účinky rázové vlny lze také využít k tváření kovů nebo výbuchem vzniklé horké plyny s teplotou plazmy k jejich řezání. K tváření kovů jsou vyvinuty tenké pláty Semtexu, pokládající se přímo na kov, který je tlakem výbuchu (rázovou vlnou) vtlačen do připravené formy nebo se trhavina umístí do kapaliny nacházející se nad tvářeným plátem kovu. Popsanou jednoduchou metodikou lze vytvářet i poměrně složité výlisky. K řezání kovů se používají tzv. kumulativní nálože. Ty využívají efektu, že detonace se šíří kolmo k povrchu trhaviny. Pouhým geometrickým uspořádáním trhaviny (obr. 8) vznikne v průběhu její detonace plazmový plamen schopný prorazit i pancíř obrněných vozidel (protitankové střely). Táhle kumulativní nálože se například používají k likvidaci leteckých pum (plazmový plamen o vhodných parametrech není schopen roznítit trhavinu v pumě) při demoličních pracích nebo k řezání kovových předmětů v těžce přístupných místech (obr. 9).



Obr. 7: Hořící expandující plyny po detonaci trhaviny v první (tečka uprostřed) a druhé (koule kolem) 1/50 sekundy.



Obr. 8: Řez kumulativní náloží (zdroj internet).



Obr. 9: Táhlá kumulativní nálož. Nálož je plastická, lze ji tvarovat a spodní samolepící stranou přilepit na předmět. (Zdroj: katalog trhavin Explosia Semtín).



Obr. 10: Rozlet hořících částic (papír, PVC, lepenka, překližka) po výbuchu z obr. 7, druhá 1/25 s (vpravo nahoře). Experiment realizovaný v rámci státního grantu „Malý terorista“.

Jak explosivní hoření tak detonace působí na okolní prostředí obdobným způsobem. První co se projeví, je teplota povýbuchových plynů (viz obr. 7). Ty mohou zapalovat hořlavé látky kolem místa výbuchu (obr. 10). Kolega, co přežil výbuch průmyslové trhaviny v podzemí, vyprávěl o horkém modrém záblesku. Dalším účinkem výbuchu na okolí je tlaková/rázová vlna. Ta působí na materiál mechanicky. Vliv rázové vlny byl podrobně popsán v předchozích odstavcích. Velkým nebezpečím při explozích všeho druhu je rozlet výbuchem uvolněného materiálu. Ten se může pohybovat jak nadzvukovou tak podzvukovou rychlostí a způsobovat tak další sekundární poškození včetně zranění i ve velkých vzdálenostech od místa výbuchu. Právě rozlet výbuchem uvolněného materiálu je nejnebezpečnější jev spojený s explozemi všeho druhu. Ve vojenské munici je samozřejmě tento v civilním využití trhavin nebezpečný jev žádoucí. Střepinový účinek vojenské munice se proto zvyšuje obalením trhaviny např. křehkým litinovým pláštěm.

Průmyslové ale i vojenské výbušniny jsou látky velmi odolné proti roznětu. Do detonace je nepřivede jak prudký mechanický náraz (lžíce bagru) ani jejich zapálení. Pro informaci Semtex hoří jasným plamenem a průmyslovou trhavinou Danubit (na bázi nitroglykolu) si za doby totality topili dělníci ve slovenských lomech v kamnech. K dosažení adiabatické komprese nutné k iniciaci trhaviny se používají tzv. třaskaviny. Jedná se o látky, které po zážehu velmi rychle přecházejí od explosivního hoření do detonace. Některé třaskaviny přecházejí do detonace i pouhým mechanickým podnětem (např. chemiky oblíbený jododusík). K průmyslové iniciaci trhavin se využívají poměrně stabilní látky na bázi azidů. Třaskaviny ale obecně bývají vysoce nestabilní látky organického původu, citlivé na sebemenší podněty z venčí. Paradoxem je, že mnohé z nich lze snadno namíchat z běžně dostupných komodit. Mnohá žena ani netuší, že v polici na kosmetiku má chemikálie, které když smíchá, vznikne třaskavina. Z praktické zkušenosti z Bejrútu (obr. 11 a 12) je patrné, že trhavinu může za určitých okolností iniciovat i zábavní pyrotechnika (při určitých podmínkách přechází slož, nacházející se v dětem dostupné zábavní pyrotechnice, do detonace s rychlostí 1,4 km/s). Látky, ze kterých je možné vyrobit jak třaskaviny, tak i výbušniny lze zcela běžně nakoupit jak v drogeriích, kosmetikách tak i v prodejnách potravin. Jedná se však o látky dvojího použití, bez kterých se v domácnostech a hlavně průmyslu už těžko obejdeme.



Obr. 11: Hoření plynů vzniklých detonací dusičnanu amonného (zdroj internet).



Obr. 12: Vznik a postup rázové vlny. Na vodní hladině je vidět její čelo. V jejím týlu ve vzduchu vzniká podtlak způsobující v tomto případě kondenzaci vodních par. (Zdroj internet).

3. Fyzikální vlastnosti výbušnin.

Fyzikální vlastnosti třaskavin a výbušnin obecně se odvíjejí od principu jejich práce. Hlavními parametry jsou výbuchová energie a detonační rychlost (rychlost hoření). Neplatí úměra, že čím vyšší detonační rychlost, tím vyšší výbuchová energie. Některé třaskaviny s vysokou detonační rychlostí mají tak malou výbuchovou energii, že je nelze použít k užitečné práci. Naopak výbušniny s malou detonační rychlostí mnohdy udivují rozsahem užitečných dovedností. Detonační rychlost také předurčuje, k čemu se trhaviny hlavně použijí. Když potřebujeme jenom podrtit materiál kolem nálože, je někdy kupodivu vhodné použít trhavinu s vysokou detonační rychlostí. Účinek detonace tak rychle vymizí vlivem přechodu rázové vlny do materiálu s odlišnou rychlostí zvuku. Nejčastěji ale požadujeme, aby rázová vlna materiálem prošla. Proto do hlín, štěrku a látek s nízkou rychlostí vedení zvuku se používá DAP s detonační rychlostí kolem 1,5 km/s, k rozrušování skal jsou vhodné skalní trhaviny (Perunit, Permonex) s detonační rychlostí 3 až 6 km/s a k tváření a řezání kovů včetně vojenského využití k průrazu pancířů Semtex a TNT s detonační rychlostí 7 km/s.

Z principu vzniku detonace také vyplývá, že jedním hlavních parametrů trhavin je jejich kyslíková bilance. Zatím co jedny trhaviny mají kyslíkovou bilanci kladnou (nitroglycerin, dusičnan amonný) a některé nulovou (Perunit, Danubit; požadavek u důlních trhavin aby po rozkladu povýbuchových plynů byl poměr dusíku a kyslíku ve vzduchu 80 ku 20). Při výbuchu trhavin se zápornou kyslíkovou bilancí (Semtex, TNT) vzniká velké množství nespálených plynů, které na vzduchu dohořívají. Pro praktické požití se jedná o komplikaci (při práci je pak střelmistr černejší jak kominík). Při vojenském využití trhavin je záporná kyslíková bilance žádoucí. Povýbuchové plyny zapalují vše kolem. Jedná se o ten černý hořící oblak, co známe z výbuchů vojenské munice v televizi. Z podstaty dodržení kyslíkové bilance také plyne, že nejjednodušší důlní trhavinou s vyváženou kyslíkovou bilancí je směs TNT s dusičnanem amonným (Perunit).

S povýbuchovými plyny úzce souvisí jejich teplota hoření. Ta v průběhu detonace může dosáhnout až 5 000 °C. Detonace trhavin i s nulovou kyslíkovou bilancí tak může způsobit hoření snadno zápalných materiálů v okolí výbuchu (např. důlní plyny, viz obr. 7 a 11). Proto se u některých důlních trhavin uměle snižuje teplota výbuchových plynů přimícháváním soli nebo salmiaku (Ostravit, trhavina do uhelných dolů). Významnou fyzikální vlastností výbušnin je minimální detonační průměr. Je to průměr válcového tělesa trhaviny, který už spolehlivě vede detonaci. U důlních trhavin to bývá cca 28 mm, ale minimální detonační průměr Semtexu je 5 mm. Takto malý detonační průměr má řadu průmyslových využití. Další fyzikálních vlastností trhavin je mnoho (hustota, viskozita, výbuchové teplo, objem zplodin, odolnost proti nárazu apod.). Naposledy bych se ale zmínil o vlastnosti s názvem brizance. Jedná se o schopnost výbuštiny podřít materiál ve svém okolí. Mnohdy je brizance mylně spojována s účinností výbuštiny. Hlavně u lidí spojených s právníkem prostředím jsem se už několikrát setkal s nevhodným pochopením tohoto pojmu, kdy soudní znalec nevhodně napsal, že látka je tisíckrát brizantnější než Semtex a dotyčný právník si myslel, že má co do činění s látkou co má výbuchovou energii shodnou s menší atomovou pumou. Jednalo se však o látku, kterou bylo možné iniciovat i (opět s nadsázkou) nevhodným pohledem.

4. Detonace v praxi.

Jako první bych diskutoval problém výbušnin a terorismu. Pokud víte, že si lze jednoduchým způsobem pořídit účinnou výbušninu vzhledu průhledné kapaliny, vůbec se nemůžete zlobit na letecké přepravce, že nás při kontrolách zbavují všech kapalin, co jsme si k odbavení donesli z domova. Zamezit ilegální výrobě výbušnin nelze. Jak už jsem psal, při jejich výrobě se mohou použít běžně dostupné látky, bez kterých si život v civilizovaném světě neumíme představit. Jak ale jednou pronesl kolega, státní zástupce. *„Ti co to umějí, jsou tak inteligentně na výši, že to nepoužijí a ti co by to chtěli použít, jsou tak blbí, že se při výrobě zabijou“*. Ostatně jak sleduji události ve světě. Domácí výroba některých výbušnin má za následek větší počet zlikvidovaných potenciálních teroristů než zásahy CIA a FBI dohromady.

Významným problémem spojeným s výbušninami je nevybuchlá munice z posledních světových válek. Průmyslové výbuštiny jsou látky stabilní, nepodléhající rozkladu. Nicméně se totožný výrok nedá použít na třaskaviny v roznětných zařízeních vojenské munice. Při průmyslovém využití trhavin je třaskavina a tzv. počínová nálož (Pentritové tělísko) součástí rozbušky. Pokud v trhavině není rozbuška, pak vlastní trhavina nepředstavuje pro svoje okolí žádné nebezpečí (některé lze použít i místo žvýkačky nebo tmelu). Rozbušky mají záruční dobu odvozenou z doby stability třaskaviny v rozbušce obsažené. Ve vojenské munici bývá třaskavina vzhledem k možnosti snadného odpálení součástí nálože. A jak už jsem psal, třaskaviny bývají látky nestabilní, podléhající rozkladu a hlavně rekrystalizaci. Obzvláště se jedná o třaskaviny používané v munici z druhé světové války (třaskavá rtuť nebo olovo). Prakticky u některých chemických látek stačí zlomení jejich krystalku, aby došlo k odpálení třaskaviny a tím i celé adjustované nálože (testy pyrotechniků z Milovic). To je důvod, proč se při nálezů staré munice evakuuje značný okruh kolem nálezů, i když munice ležela bez problému celá desetiletí pod zemí. Nikde není zaručeno, že nálož (puma apod.) nemůže samovolně explodovat. Z pohledu znalostí o výbušninách je mi nepochopitelné proč se některé firmy a také státní úřady snaží na některých stavbách většího významu vyhnout preventivnímu pyrotechnickému průzkumu (informace od kolegy z firmy DestruX).

K možnostem vzniku explosivního hoření i detonací jsou předurčeny sklady chemikálií. V současné době (snad) si už zaměstnanci skladů chemikálií uvědomují, že není vhodné vedle sebe skladovat prudká okysličovadla a hořlaviny. V osmdesátých a devadesátých letech jsem byl svědkem stavu, kdy ve skladech chemikálií pro úpravu vody byly vedle sebe umísťovány pytle s manganistanem draselným, kyselinou šťavelovou a skleněné nádoby s glycerinem. Zajímavé bylo pozorovat rychlost pohybu zodpovědného pracovníka, když jsem mu na základě názorné ukázky předvedl, co taková směs dokáže. Obdobou je chování jedné „odborné“ firmy na likvidaci nebezpečného odpadu, kdy do popílkoviště u elektrárny Opatovice její pracovníci sypali chemikálie ze skladu podle abecedního pořadí (např. azbest, atrazin, aceton, azid) tak dlouho dokud nedošlo k výbuchu sypáním míchaných látek. Vybrané fyzikální vlastnosti výbušnin byly prezentovány v předchozí kapitole. Nicméně jejich významnou chemickou vlastností je toxicita. Speciální výbušniny lze bez problému strávit a pro lidi nepředstavují žádné nebezpečí. Řada výbušnin je ale pro živé organismy mimořádně toxická. Jedná se hlavně o organonitráty. Některé výbušniny se proto v kombinaci s jinými chemickými látkami využívají jako pesticidy a insekticidy. Pak stačí přidanou chemikálií náhodou nebo záměrně neutralizovat a nečekaný problém je na spadnutí.

Velkou obezřetnost je nutné věnovat hromadnému používání dusičnanu amonného. Ten je jako hnojivo využíván v zemědělství a to v obrovském množství. Z dusičnanu amonného lze velmi jednoduchou cestou vyrobit trhavinu (pro uklidnění – s velmi náročným roznětem). Největší zbrojovkou v ČR vyrábějící trhaviny tak není Explosia Semtín ale Lovosická chemička. To není náhoda, ale záměr (v době míru hnojivo, v době války výbušnina). V předminulém století po zavedení průmyslové výroby dusičnanu amonného se mělo za to, že je na rozdíl od dusičnanu draselného a sodného látkou stabilní, vhodnou k využití jako průmyslové hnojivo. Až výbuchy v Oppau v roce 1921 a lodi Grandcamp v roce 1947 v přístavu v Texas City ukázal sílu této myšlenky. Jako by se svět nepoučil a tak muselo v roce 2020 dojít k obdobnému avšak velmi dobře dokumentovanému výbuchu dusičnanu amonného v přístavu v Bejrútu (obr. 11 a 12). K přivedení 2700 tun hořícího dusičnanu amonného k detonaci stačila exploze zábavní pyrotechniky, která byla umístěna ve společném skladu (lidé s nižším IQ by neměli mít přístup k výtvarným moderní civilizace). Na velmi dobře známém videu jsou pozorovatelné všechny jevy spojené s detonací včetně postupu rázové vlny a její transformaci ve vlnu akustickou.

5. Závěr.

Ne všechny výbuchy v průmyslových areálech v ČR jsou podmíněné detonací. Podle materiálů shlednutých na předchozích TVIP se jednalo většinou o projevy explosivního hoření. Mimo chemické závody zabývající se výrobou nebo zpracováním kyslíku nebo trhavin je pravděpodobnost vzniku detonace při havárii velmi malá. Nicméně i fyzikální projevy explosivního hoření a to hlavně rozlet výbuchem uvolněného materiálu patří mezi velmi nebezpečné jevy, které je nutné brát do úvahy v rámci prevence průmyslových havárií.