

Výbušniny

a jiné destrukční látky

Michal Švanda

...„Škoda něco rozbít. I atomu je škoda. Nu tak dál.“

„Já... rozbiju atom. Já vím, že už Rutherford... Ale to byla jen taková páračka se zářením, víte? To nic není. To musí být en masse. Jestli chcete, já vám rozbourám tunu bismutu; rozštípne to ce-celý svět, ale to je jedno. Chcete?“

„Proč byste to dělal?“

„Je to... vědecky zajímavé,“ zmátl se Prokop. „Počkejte, jak bych vám to...“ ... „Dynamit - dynamit trhá hmotu na kusy, na balvany, ale benzoltrioxozonid ji roztrhá na prášek; udělá jen malou díru, ale rozdrť hmotu nana-na submikroskopickou padrt', rozumíte? To dělá detonační rychlost. Hmota nemá čas ustoupit; nemůže se už ani roz-roztrhnout, víte? A já... jjjá jsme stupňoval detonační rychlost. Argonozonid. Chlorargonoxozonid. Tetrargon. A pořád dál. Pak už ani vzduch nemůže ustoupit; je stejně tuhý jak... jako ocelová deska. Roztrhá se na molekuly. A pořád dál. A najednou vám... od jisté rychlosti... začne brisance¹ děsně stoupat. Roste... kvadraticky. Já koukám jako blázen. Odkud se to bere? Kde kde kde se najednou vzala ta energie?“ naléhal Prokop zimničně. „Tak řekněte.“ ...

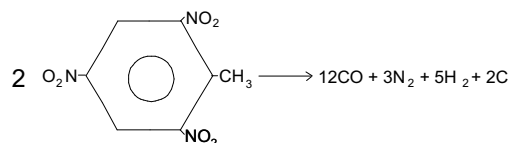
(Karel Čapek, *Krakatit*, 1923)

Už spisovatel a novinář z počátku tohoto století se ve svém díle zabýval výbušninami. Tehdy v nich viděl velkou hrozbu pro lidstvo, zvláště pak v rukou šílených vědců, kterým jde spíše o osobní prestiž, než o všeobecné blaho. A měl pravdu. Připomeňme si konec 2. světové války a svržení jaderných pum na japonská města. Ale podívejme se na výbušniny i z té lepší stránky. Kdyby jich nebylo, jen těžko bychom získávali nerostné suroviny, staré a nepotřebné budovy bychom museli pracně rozebírat kousíček po kousíčku,

zvířata bychom dodnes lovili jen s pomocí luku a oštěpu. Výbušniny tudíž patří mezi důležité chemické látky, se kterými vůbec nikdy nemusíme přijít do přímého styku, ale neobejdeme se bez nich.

Výbušniny jsou chemické látky, které se teplem, nárazem, elektrickou jiskrou nebo jiným vnějším podnětem mimořádně rychlou exotermickou reakcí rozloží na plynné produkty o velkém objemu, tím v místě výbuchu vzniká obrovský tlak, který je příčinou destrukčních účinků. Destrukční účinky si blíže představíme na výbušnině, která se stala jakýmsi měřítkem síly výbušnin ostatních, na TNT.

Tritol, neboli **TNT** (2,4,6-trinitrotoluen) je krystalická látka, která na vnější podnět (zvýšenou teplotu) reaguje prudkou oxidací podle rovnice:



Při výbuchu vznikají plynné látky, z 1 kg TNT se uvolní přibližně 700 dm³ plynu. To není mnoho, pokud to srovnáme s oxidem uhličitým, uvolněným při hoření 1 kg černého uhlí (1500 dm³) a dokonce ani tepelnou energii uvolněnou při oxidaci tritolu (6,5 MJ) nelze příliš srovnávat se spalným teplem kilogramu černého uhlí (33 MJ). V čem tedy spočívá ničivá síla výbušnin, když jako paliva by byly prakticky nepoužitelné?

Odpověď je jednoduchá. Zatímco uhlí hoří pěkně pomalu, oxidace tritolu proběhne během zlomku sekundy. A i tak malá uvolněná energie v tak krátkém čase zvýší teplotu prostředí až na 3 500 °C, při takovéto teplotě prudce vzroste objem plynných produktů (až patnáctinásobně) a tím pádem i tlak (na sta i tisíce megapaskalů) a důsledkem je přetlaková detonační vlna, která se od místa

¹ Brisance = trhací síla

výbuchu šíří velkou rychlostí (i 7 000 metrů za sekundu). Taková tlaková vlna pak ničí vše, co jí zůstane v cestě.

Výbušnin se neuzívá jen ve vojenství, ale i v mnohých průmyslových oborech (těžba nerostných surovin, prokopávání tunelů, úprava terénu, destrukce starých a nepotřebných budov a jiných objektů) a pro mnohé osoby jsou prostředkem koníčku (sportovní střelba, myslivost).

Výbušných látek známe mnoho. Významné jsou však jen ty, které jsou dostatečně citlivé na iniciaci (vyvolání výbuchu), které jsou dostatečně odolné vůči nárazům a teplotě, které jsou bezpečné při manipulaci a skladování, které jsou snadno vyrobitelné,... Těch už není tak moc. Projděme si tedy nejvýznamnější zástupce jednotlivých skupin.

1. Trhaviny

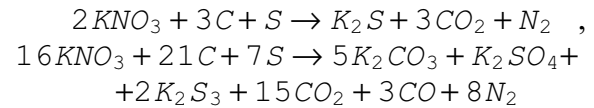
Trhaviny se používají k výrobě trhacích náloží pro doly, lomy, k plnění leteckých pum, min a jiných prostředků bojové techniky.

1.1 Černý střelný prach

Nejstarší trhavinou, která je vlastně střelivinou, je bezpochyby **černý střelný prach**. Podstatou této látky, která byla jako trhavina při dobývání uhlí poprvé použita v Banské Štiavnici na Slovensku dne 7. března 1627, vynalezen byl však už v Číně mnoho století předtím, je mechanicky promíchaná směs dusičnanu (ledku) draselného, dřevěného uhlí a síry v poměru 75:15:10. Ledek zde působí jako kyslíkatá substance, která urychluje hoření dřevěného uhlí, síra slouží pouze k rychlému zapálení směsi a urychluje její hoření.

Černý prach rozdělujeme na prach *zrněný* (velikost zrn od 0,2 mm až nad 10 mm podle účelu) a prach *prismatický* či *lisovaný* (zrnka prachu tvoří pravidelná lisovaná tělíska). Prach se zažehuje plamenem nebo jiskrou, teplota samovznícení je kolem 310°-315°C. V otevřeném prostoru klidně hoří nazelenalým plamenem, v uzavřeném prostoru po zapálení exploduje. Rychlost výbuchu se pohybuje

kolem 200 až 500 metrů za sekundu. Černý prach je velmi odolný vůči nárazu, při použití 10 kg závaží exploduje až při dopadové výšce nad 45 cm. Základní rozkladné rovnice pro explozi prachu jsou:

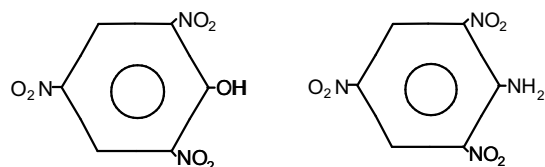


, při výbuchu však vzniká i spousta jiných produktů (např. $(NH_4)_2CO_3$, H_2S , CH_4 a další). Tuhé zplodiny pak tvoří jednak usazeniny v místě výbuchu (proto se musely střelné zbraně, které používaly nábojnice s černým prachem, dříve tak často čistit), jednak jsou podstatou hustého šedobílého dýmu. Z 1 kg černého prachu vznikne průměrně 570 g tuhých zplodin a 270 dm³ plynů. Teplota v místě výbuchu je kolem 2 400° až 3 000°C a při výbuchu 1 kg se uvolní teplo přibližně 3 kJ.

Použití černého prachu dnes již patří historii. Jen vyjímečně se používá jako náplň do speciálních druhů munice. V průmyslu slouží dnes jen k účelům, kde stačí jen malá brisance (kácení pařezů, trhání ledů, atd.). Jeho velkou výhodou je jeho lác, naproti tomu nevýhodou je velká náchylnost k navlhání a tím možnost selhání.

1.2 Trhaviny na bázi kyseliny pikrové

Jednou z dnes nepříliš používaných trhavin je **kyselina pikrová** (2,4,6-trinitrofenol), která za normálních podmínek tvoří žluté, hořké, jedovaté krystalky, které jsou ve vodě rozpustné a při rychlém zahřátí vybuchují. Výroba této látky se provádí nitrací fenolu nebo nitrací kyseliny fenolsulfonové. Soli kyseliny pikrové - **pikrany** - jsou ještě výbušnější. Tím však řada výbušnin odvozených od kyseliny pikrové nekončí. Reakcí s chloridem fosforečným totiž vzniká pikrylchlorid, který reakcí s NH_3 dává **pikramid** (2,4,6-trinitroanilin), což jsou

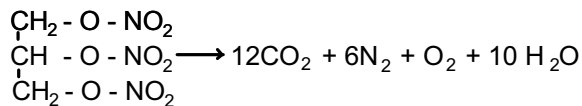


Obr. 1 : Kyselina pikrová a pikramid

žluté, ve vodě nerozpustné krystalky, které tvoří vysoce výbušnou látku.

1.3 Dynamity

Velmi známými trhavinami jsou **dynamity**, dnes nejpoužívanější průmyslové trhaviny, jejichž účinnou složkou je glycerintrinitrát (nesprávně nitroglycerin). Účinky této látky zobrazuje chemická rovnice detonačního výbuchu glycerintrinitrátu.

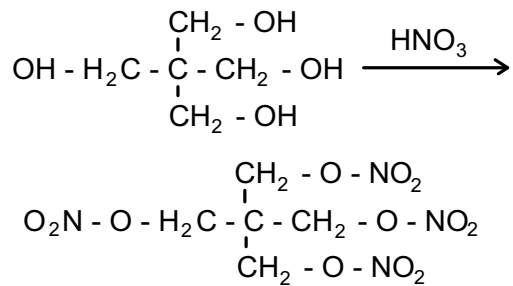


Za zmínku stojí, že glycerintrinitrát je bezbarvá kapalina, která se normálně používá například v lékařství, ale teprve po napuštění porézní hmoty (v původním Nobelově patentu byla jako porézní hmota použita hlinka) nitroglycerinem se promění v nebezpečnou látku.

1.4 Plastické trhaviny

V současné době hojně používanými trhavinami jsou trhaviny plastické, z nichž je v našich krajích určitě nejznámějším **Semtex**, vyráběný Synthesíí a.s. Pardubice. Stejná firma vyrábí i jinou plastickou trhavinu, **pentrit**.

Pentrit (pentaerythrit tetranitrát, nitropenta, pentaryt, hiperyth) je spolu s hexogenem nejdůležitější plastickou trhavinou. Poprvé byl připraven nitrací pentaerythritolu v roce 1895. Jeho základní surovina se vyrábí zvláštní případem aldolové kondenzace z formaldehydu a acetaldehydu v poměru přibližně 4:1. Ta se pak nitruje 98-99% kyselinou dusičnou (jde o esterifikaci). Nitrace je silně exotermní a proto vyžaduje silné chlazení. Teplota při nitrace se má pohybovat maximálně k 18-20°C, při vyšších teplotách celá reakce obvykle končí explozí celé směsi.



Čistý produkt má formu bílých krystalků. Technický taje při 138-139°C v těžký bezbarvý olej. Je nerozpustný ve vodě, málo rozpustný v alkoholu a etheru. Používá se k výrobě rozbušek, protože ke svému vzplanutí potřebuje podstatně méně azidu (*viz dále*) než ostatní trhaviny. Nitropentu lze použít i jako tzn. termoplastickou rozbušku, kdy je ve směsi s želatinovanou nitrocelulózou, tato směs je za horka plastická a snadno pěchovatelná, za studena tuhne v tvrdou hmotu. Dále se používá jako výborná trhací náplň do munice, zvláště pak tam, kde je zapotřebí vysoké brisance. Nevýhodou nitropenty je však její velká citlivost, nelze jí proto nahrazovat tritol. V průmyslu se používá především ve výbušné směsi **pentritu** v 10-20% nitroglycerinu, čímž se dosáhne právě plasticity a navíc vysoké trhací síly a detonační rychlosti.

2. Střeliviny

Střeliviny se používají k plnění nábojů pistolí, pušek, samopalů, děl a dalších palných zbraní. Hlavním rozdílem mezi trhavinami a střelivinami je způsob exploze. U trhavin tento děj probíhá pomocí detonační reakce, zatímco u střelivin explozivním hořením. Jako střelivina byl poprvé použit výše popsaný **černý střelný prach**. Koncem 19. století byl však nahrazen účinnějšími **prachy bezdýmnými**, jejichž základem jsou nitráty celulózy, nitroglycerin nebo diglykol.

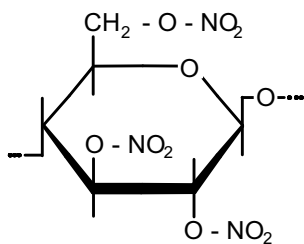
2.1 Nitrocelulóza

Nejvýznamnější z těchto látek, **střelná bavlna**, je postavená na trinitrátu celulózy. Celulóza, neboli buničnina, je přírodním polysacharidem, který se vyskytuje v buněčných stěnách rostlinných pletiv. Pro

výrobu nitrocelulózy je použitelná pouze celulóza bavlněná a dřevná. *Celulóza bavlněná* byla výhradní surovinou až do roku 1905. Je nejčistším zdrojem celulózy v přírodě, obsahuje jí přibližně 83% a po vyvaření zředěným hydroxidem sodným nebo vybělení chlórem se získá produkt o obsahu celulózy až 99,85%. Bez vyčistění však nelze celulózu nitrovat, neboť přítomnost nečistot ve formě hemicelulóz snižuje stabilitu reakce a může dokonce vyvolat samovolný vzbuch. *Celulóza dřevná* se používá až od první světové války, kdy byl nedostatek celulózy bavlněné.

Rozhodující na kvalitě střeliviny je obsah dusíku, vojenská nitrocelulóza se například dělí na *střelnou bavlnu* (obsah N asi 12,75-13,45%) a *bavlnu koloidovou* (obsah N asi 11-12%).

Střelná bavlna v otevřeném prostoru hoří jako palivo, ale v uzavřeném prostoru nábojnice se po zážehu okamžitě zvýší tlak, působením zvýšeného tlaku se hoření střelné bavlny přemění na velmi rychlé explozivní hoření. Tlak dosáhne hranice přibližně 30 MPa, kdy se zalisovaná střela uvolní z nábojnice a hlaveň zbraně opouští pod tlakem přibližně 300 MPa rychlostí 500 až 1 500 metrů za sekundu.



Obr. 2 : Základní buňka nitrocelulózy

2.2 Další druhy bezdýmných prachů

Prachy nitroglycerinové obsahují vedle nitrocelulózy ještě přídavek nitroglycerinu (20-50%). Různým obsahem nitroglycerinu se dosahuje velké pestrosti druhů a balistických vlastností těchto prachů. Při obsahu nitroglycerinu nad 40% se dosahuje velké výbušné síly a teploty, tento prach se nazývá *balistit* (vynalezený Alfredem Nobelem), a dnes se už příliš nepoužívá. V minulosti však pro zvýšení výbušnosti mívával i přídavek di-

nebo tri-nitrotoluenu. Za války byl nedostupný nitroglycerin úspěšně nahrazen diglykolem, vznikly tak *prachy diglykolové*.

3. Třaskaviny

Třaskaviny jsou mimořádně citlivé výbušniny, používané především k výrobě tzn. *iniciátorů* (roznětek, rozbušek), které vyvolávají zážeh střeliviny nebo roznět trhaviny.

K nejpoužívanějším třaskavinám patří azid olovnatý $Pb(N_3)_2$ (ona i samotná kyselina azová HN_3 je silná třaskavina) a třaskavá rtuť neboli fulminát rtuťnatý $Hg(CNO)_2$. Tyto látky explodují již při pouhém úderu a používají se proto na výrobu zápalek do nábojnic. Náraz úderníku pistole vyvolá explozi třaskaviny, která zažehne střelivinu v nábojnici. Teprve pak se uvolňuje střela, jak již bylo popsáno výše.

Z předchozího odstavce tedy vyplývá, že třaskaviny vyžadují nejvíce pozornosti při manipulaci s nimi.

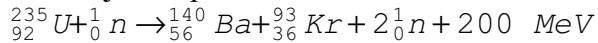
4. Jaderné zbraně

Zvláštní kapitolou výbušnin jsou látky, využívající energie jaderného štěpení. Bohudík se žádné z těchto výbušnin nepoužívají jako trhaviny v „civilu“, ale výhradně, a teď je slovo bohužel více než na místě, ve vojenství. Nukleární zbraně se řadí mezi zbraně hromadného ničení a stále ohrožují existenci lidstva na Zemi. V současné době se sice snaží světové velmoci zabránit výrobě a uchování těchto nebezpečných věcí různými smlouvami, avšak státy s méně rozvinutým hospodářstvím a odlišnou mentalitou, jako třeba Indie, veřejně prohlašují, že se zásobují nukleárními hlavicemi a balistickými raketami, které tyto smrtící nálože dovedou dopravit na opačnou stranu zeměkoule. Varováním by se nám měl stát konec 2. světové války, kdy byly 6. a 9. srpna 1945 svrženy na japonská města Hirošimu a Nagasaki dvě jaderné pumy. Po této události sice Japonsko kapitulovalo, ale na straně nevinných japonských obyvatel bylo téměř 80 tisíc mrtvých a další desítky tisíc lidí byly ozářeny, což jim způsobilo trvalé zdravotní poškození, na jejichž následky umírají lidé dodnes. Rozhodně tedy stojí nad

problémem jaderných zbraní a používání jaderného štěpení vůbec chvilku zauvažovat. Abychom pochopili blíže tuto problematiku, podívejme se na podstatu nukleárních zbraní očima chemiků.

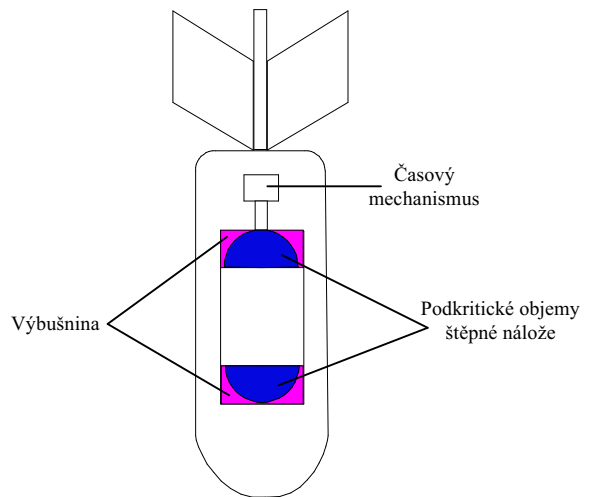
Výbušné atomové bomby základního typu pracují na principu neřízené a překotné řetězové jaderné reakce. Štěpením nějakého nestabilního izotopu těžšího kovu nárazem neutronu se jádro původní látky štěpí na dvě jádra atomů o menší atomové hmotnosti, za uvolnění určitého počtu neutronů, které štěpí další jádra, a velkého množství energie.

V případě jaderných bomb základního typu, typu *A-bomby*, se využívá především následující štěpné reakce:



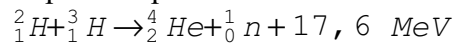
, toto však zobrazuje až konečné štěpení, mezitím je spousta radioaktivních meziproductů. Někdy může být uran 235 nahrazen uranem 233 nebo izotopem ${}_{94}^{239}\text{Pu}$, produktem konečného štěpení jsou pak izotopy olova.

Jaderná reakce proběhne až v okamžiku, kdy se látka nachází v takzvaném **nadkritickém množství**. Dobře uskladněná jaderná bomba je prakticky neškodná, protože obsahuje několik (obvykle dvě) oddělených kapslí výkonné látky v podkritických množstvích. Teprve při navedení na cíl se pomocí obyčejné, obvykle plastické, trhaviny naruší dělicí přepážky, látka se pak bude nacházet v nadkritickém množství a dojde k samovolné řetězové jaderné reakci. Ničivý účinek nukleárních bomb tkví především v nárazové tlakové vlně, v uvolněné energii, která se projeví jako vlna tepelného záření (tato vlna má teplotu až několik desítek milionů stupňů Celsia), ve vysoce pronikavém jaderném záření, které se uvolňuje, a v radioaktivním zamoření ovzduší. Výbušná síla A-bomb je až 100 kt TNT.



Obr. 3 : Schéma A-bomby

Zvláštním typem je vodíková bomba (*H-bomba*), v níž je jako zdroje energie zneužito termonukleární reakce, která pracuje na přesně opačném principu než A-bomba - jádra atomů dvou lehčích prvků se skládají v jádro atomu prvku těžšího. V H-bombách se používá syntézy deuteria a tritia na helium, která probíhá podle rovnice:



uskutečnění této reakce je však zapotřebí obrovská teplota, aby se látka nacházela v plazmatickém skupenství, čehož se dosahuje explozí zabudované menší A-bomby. Účinky H-bomby jsou v porovnání se stejně velkou A-bombou několikanásobně větší (až 100 Mt TNT). Rázová tlaková vlna boří domy do vzdálenosti 20 kilometrů a nesmírné tepelné záření dokáže zapálit hořlavé předměty až do vzdálenosti 100 kilometrů od místa výbuchu. Uvolňovaný neutron je součástí tzn. neutronového záření, které ničí vše živé.

Zvláštním typem vodíkové bomby je *bomba kobaltová*. Jde v podstatě o klasickou H-bombu, pouze je obklopena pláštěm z kobaltu ${}_{27}^{59}\text{Co}$, z něhož se při výbuchu stává radioaktivní izotop ${}_{27}^{60}\text{Co}$ s poločasem rozpadu 5,24 roku, který se odpaří a větrem roznesen zamoří dlouhodobě ovzduší a terén, neboť vysílá životu nebezpečné γ -záření.

Neutronová bomba má narozdíl od předchozích typů uměle snížené destrukční účinky a vzniklá energie se přemění na intenzivní γ -záření a neutronové záření,

Reakce	Hmotnost	Uvolněná energie		Svítil 100 W žárovka ¹	Vzorová domácnost ²	Srovnání s uhlím ³	Ohřátí vody z 0 na 100°C ⁴
		kg	J	kWh	let	let	tun
Uran 235	1	8.11x10 ¹³	2.25x10 ¹⁰	25 690,33	2 569,03	2 456,74	193,95
Deuterium +tritium	1	1.68x10 ¹⁵	4.68x10 ¹¹	533 855,28	53 385,53	51 052,1	4 030,43

¹ Doba, po kterou bude svítit 100-wattová žárovka nepřetržitě při čerpání energie z 1 kg látky

² Doba, po kterou by bylo možné zásobovat domácnost s příkonem 1000 W

³ Množství černého uhlí, které uvolní stejné množství energie, jako 1 kg dané látky

⁴ Objem vody, který by bylo možné uvolněnou energií ohřát z 0 na 100°C

tvořené proudem neutronů, které rozrušuje tkáň živých organismů a zasažené osoby umírají během několika hodin, dnů, ale i let bez možnosti vyléčení.

Z předchozích odstavců vyplývá, jak je jaderná reakce, když se dostane do nesprávných rukou, nebezpečná a že její následky jsou dlouhodobé a jen velmi obtížně se likvidují. Stačí si jen uvědomit jednoduché srovnání, které ukazuje tabulka na následující stránce.

* * *

Tento dokument neprošel žádnou jazykovou korekturou. Za chyby nese sice odpovědnost autor, ale nedávejte mu to tolik najevo. Tisk STAR LC-240, sazba Ami Pro 3.1, velikost dokumentu 385 kB, počet stránek 7, počet slov 2644, což je 17726 znaků. Uzávěrka tohoto dokumentu byla provedena ke dni: 19. Květen 2000 v 12:09 . Děkuji.

Závěrem si připomeňme jednu známou skutečnost: **i malé množství výbušniny, které lidstvu ušetří nebo usnadní práci, má mnohem větší význam, než sebesilnější bomba použitá proti člověku.**

Použité zdroje:

Literatura:

Majlen Konstantinovskij - Než odstartuje raketa

Helena a Eduard Škodovi - Už vím proč 2

Zdeněk Opava - Chemie kolem nás

Vicente Segrelles - Zbraně, které zasáhly do vývoje lidstva

Karel Čapek - Krakatit

Světové vynálezy v datech

Zvláštní dík patří Petře Machové, personalistce firmy Synthesia a.s. Pardubice, za poskytnuté materiály a věnovaný čas.