



## Mierové a vojenské využitie chemických explózií

### Peaceful and military use of chemical explosions

**Abstract:** Explosions caused by chemical reactions and their practical use are an extremely broad interdisciplinary topic. Despite its extraordinary importance, minimal attention is paid to them in most types of schools focused on natural and technical sciences. This article tries to explain at least the basic chemical and physical effects taking place during explosions and point out the main peaceful and military directions of their use. At the same time, it points to the history of the production of explosives in Slovakia and its positive and negative consequences.

**Key words:** explosion, explosives, Alfred Nobel, nitroglycerin, 1,2,3-trinitroxypropane, Dynamit, diatomite, ammonium nitrate, thermobaric weapons, Dynamit Nobel – Bratislava, environmental damages.

**URL:** [http://bech.truni.sk/article/2024\\_1\\_4.pdf](http://bech.truni.sk/article/2024_1_4.pdf)

**Karol Jesenák**

Bradáčova 1,  
851 02 Bratislava 5

[jesenakkarol@gmail.com](mailto:jesenakkarol@gmail.com)

## Úvod

Napriek tomu, že explózie sú vo väčšine prípadov spájané s ich vojenským využitím, obmedziť sa iba na túto oblasť je veľmi jednostranné. Aj keby sme však zostali iba pri ich použití v rôznych typoch zbraní, niet žiaden dôvod, aby sme túto tému ignorovali. Jeden z dôvodov je ten, že celé dejiny ľudstva boli vždy výrazne ovplyvňované technickou úrovňou zbraní a preto ich historický vývoj k dejinám ľudstva patrí. Iný dôvod môžeme označiť ako pragmatický. Umožňuje nám, aby sme aspoň vo všeobecnej rovine boli informovaní jednak o možnostiach ich použitia a zároveň aj o rizikách ich hrozieb.

Explózie v dôsledku chemických reakcií sú výsostne interdisciplinárnou témou. Chemickou, fyzikálnou, technickou a environmentálnou, s výrazným presahom aj do histórie a kultúry. Tu pripomeňme, že všetky vojenské konflikty od vynájdenia pušného prachu až po použitie jadrových zbraní, si vyžiadali obrovské množstvo nielen obetí a materiálnych škôd, ale často aj úplný zánik celých spoločností a ich kultúrneho dedičstva. Zároveň však iniciovali aj obrovský pokrok vo vede, technike, farmácii a medicíne. Jeho výsledky využívame aj v čase mieru. Z hľadiska počtu obetí ide na účet najničivejších jadrových zbraní zatiaľ iba ich zanedbateľná časť. V druhej väčšine z nich sa v nich využívali explózie práve v dôsledku chemických reakcií.

Z pedagogického hľadiska je téma explózií a výbušnín zaujímavá. Explózie boli a vždy budú fascinujúcimi javmi. Platí to ako v čase mieru, kedy zvyčajne nespôsobujú rozsiahle škody, tak aj v čase vojen, keď je to presne opačne. Explózivné reakcie výbušnín, napriek ich atraktivnosti, nie sú však v rámci experimentálnej zložky vyučovania na školách povolené, a tak sa stávajú takmer tabuizovanou a tým aj dosť abstraktnou témou. Tento článok je snahou o vysvetlenie chemickej a fyzikálnej podstaty explózií, pričom pozornosť venuje ako ich mierovému, tak aj vojenskému využitiu.

Je tu však ešte niekoľko ďalších dôvodov, prečo hovoriť o tejto téme práve na Slovensku. Moderné výbušniny a zbrane sa u nás vyrábajú od konca 19. storočia až dodnes. S tými prvými je spojená aj história nášho chemického priemyslu. Reprezentuje ju predovšetkým podnik Dynamit Nobel v Bratislave zviazaný s menom Alfréda Nobela a zároveň jeho následnícke podniky vrátane štátneho podniku Chemické závody Juraja Dimitrova (obr. 1, 2). Tieto veľké podniky mali značný vplyv na históriu mesta ako v pozitívnom tak aj v negatívnom zmysle, vrátane mimoriadne negatívneho vplyvu na životné prostredie Bratislavy najmä v druhej polovici 20. storočia. Ten sa úplne nepodarilo eliminovať dodnes.



**Obr. 1** Obrázok ukazuje podnik Dynamit Nobel na konci 19. storočia.

(Zdroj: <https://kotp.sk/2012/02/26/ako-a-preco-urobit-z-bratislavskej-dynamitky-muzeum-cast-1/>;  
primárny zdroj je neznámy.)



**Obr. 2** Jedna z mála pekne zreštaurovaných pamiatok na podnik Dynamit Nobel.

Táto stavba v tesnej blízkosti závodu patrila zámožnému úradníkovi tohto podniku. (Fotografia: K. Jesenák)

## Explózie z pohľadu chémie a fyziky

Pod slovom explózia sa zvyčajne chápe veľmi rýchla premena kvapalín alebo tuhých látok na látky v plynnom skupenstve. Tá je zákonite spojená s veľkým nárastom objemu. Súvisí s výrazným rozdielom hustoty tuhých, resp. kvapalných látok v porovnaní s látkami v plynnom skupenstve. V najjednoduchšom prípade premeny vody na paru je vzrast objemu približne tisícnásobný. Tá však explóziou nie je, pretože nespĺňa podmienku rýchlej zmeny objemu. Spomaľuje ju nutnosť dodania veľkého množstva energie na ohriatie vody a tiež na samotnú fázovú premenu. Tú možno využiť napríklad na pohyb piestov parných strojov alebo dnes skôr lopatiek parných turbín. Avšak tam, kde vzrast objemu chceme dosiahnuť vo výrazne kratšom čase, to nestačí. Dá sa to dosiahnuť iba využitím tej energie, ktorá je k dispozícii v podobe energie väzieb medzi atómami molekúl určitej skupiny látok.

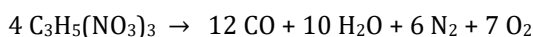
Vyvolanie explozívnej reakcie však vyžaduje špeciálne podmienky, ktoré zabezpečujú, aby chemická reakcia prebiehala v celom objeme naraz, teda nie iba v nejakej frontálnej oblasti, tak ako je to pri bežnom horení (obr. 3). Dobrým príkladom je vytvorenie aerosólových výbušných zmesí ropných alebo syntetických kvapalných palív v uzavretých priestoroch piestov spaľovacích motorov, u ktorých explozívnu reakciu iniciuje iskrový výboj zapalovacích sviečok. V tomto prípade je explozívnu reakciu exotermická oxidácia paliva. Vzrast objemu je tu spôsobený jednak premenou kvapalných zložiek palív na pary a plynné látky (CO<sub>2</sub>, vodné pary, oxidy dusíka a iné) a zároveň výrazné zvýšenie teploty v dôsledku exotermickej reakcie. Iným príkladom, ktorý sa využíva v rôznych typoch rozbušiek, je vyvolanie explózie špeciálnymi výbušnami (traskavinami), ktoré sú veľmi citlivé napríklad na náraz alebo zvýšenú teplotu. Je to napríklad azid olovnatý Pb(N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, azid strieborný AgN<sub>3</sub> alebo fulminát ortuťnatý Hg(CNO)<sub>2</sub>. Tieto látky pri výbuchu vytvárajú nadzvukovú rázovú vlnu, ktorá aktivuje molekuly hlavnej výbušniny k explozívnej reakcii v celom jej objeme.



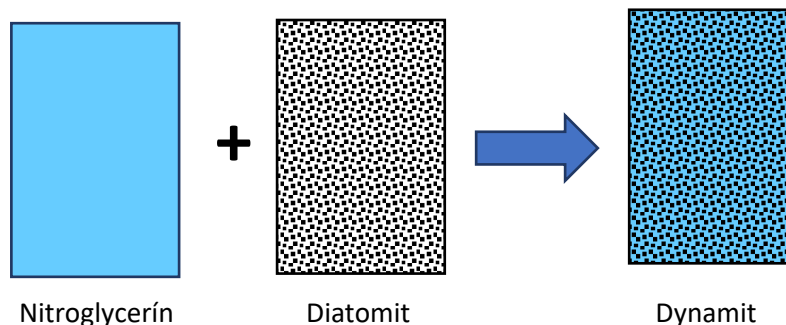
*Obr. 3 Predpokladom explozívnej reakcie s tvorbou veľkej tlakovej vlny je, aby prebiehala v uzavretom priestore. V dôsledku toho reakcia prebieha takmer súčasne v celom jej objeme (obrázok vľavo). V opačnom prípade je reakcia spočiatku lokalizovaná iba na malom úseku a s jej postupom sa reakčná zóna zväčšuje.*

Napriek tomu, že explozívne reakcie palív v spaľovacích motoroch patria k rýchlym chemickým reakciám, ich rýchlosť nie je pre mnohé aplikácie dostatočná. Spomaľuje ich práve závislosť na vzdušnom kyslíku. Zároveň ich aj komplikuje, pretože explozívnu zmes nemožno získať pri ľubovoľnom pomere paliva a vzduchu. Typickým príkladom, kde požadujeme explozívnu reakciu nezávislú od kyslíka, sú automobilové airbagy a rôzne typy konvenčných zbraní. V oboch prípadoch sa pre tento účel používa skupina dusíkatých látok, ktorých explozívna reakcia je nezávislá od kyslíka. Väčšinu moderných výbušnín tvoria práve tieto látky.

Ako príklad pre explozívny rozklad nezávislý od kyslíka môže poslúžiť nitroglycerín:



Na tomto príklade vidno, že oproti fázovej premene jednej látky je tu v dôsledku výrazného nárastu látkového množstva plynných produktov nárast objemu takmer deväťkrát vyšší. Nitroglycerín síce nie je dnes reprezentatívnou modernou výbušninou, avšak poskytuje nám veľmi dobrú príležitosť pozrieť sa na históriu pokusov o stabilizáciu kvapalných explozívnych látok. Tá je práve spojená s menom Alfréda Nobela, ktorý túto vysoko explozívnu, a vďaka tomu aj prakticky nepoužiteľnú kvapalinu, previedol do plastickej podoby zmiešaním s pórovitou silikátovou horninou diatomitom a malým množstvom uhličitanu sodného. Princípom tejto stabilizácie je rozptýlenie kvapaliny v kavitách tejto horniny (obr. 4). Táto metóda sa používa doteraz avšak s tým rozdielom, že inertnú pórovitú maticu nahrádza ďalší typ výbušnej látky.



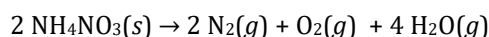
Obr. 4. **Schéma stabilizácie nitroglycerínu práškovým diatomitom.**

Princípom stabilizácie tejto výbušnej kvapaliny bolo jej uzavretie do veľkého počtu pórov medzi rozlamanými opálovými schránkami rozsievok. (Zložkou Dynamitu bolo aj malé množstvo uhličitanu sodného.) V novších výbušninách bol už pôvodný anorganický substrát nahradzovaný ďalšou výbušnou látkou, napríklad nitrocelulózou.

U najčastejšie využívaných výbušných látok a ich zmesí sa súhrnné zvýšenie objemu v dôsledku chemickej reakcie a zvýšenia teploty pohybuje asi na úrovni desaťtisíc násobku. Objem a tlak plynov sú však spoločne späté Boyle-Mariottovým zákonom, ktorý hovorí, že ich súčin je pri určitej teplote (v prípade nemenného množstva plynu) konštantný. To znamená, že zvýšenie jedného ide na úkor druhého a opačne. Závisí teda na tom, v akých hraniciach tlakov (a príslušných objemov) sa chceme pri využití explozívnej reakcie pohybovať.

## Využitie explózií

Hlavnou úžitkovou vlastnosťou väčšiny výbušných látok a zmesí je tvorba tlakovej vlny. V priemyselných trhavinách má za úlohu rozrušovať napríklad materské horniny rudných a nerudných surovín a hornín pri stavbe ciest, tunelov, základov mostov, priehrad a zároveň pri demolácii rôznych stavebných objektov. V každom z týchto prípadov však existujú určité špecifické požiadavky na to, ako by k tomu malo dôjsť. Podľa toho sa využívajú aj tlakové vlny týchto výbušnín a ich zloženie sa optimalizuje podľa týchto požiadaviek. Tie sú úplne iné napríklad pri povrchovej ťažbe železných rúd a iné pri demolácii vysokého komína v zastavanom území mesta. Kým v prvom prípade si často vystačíme so suspenziou obyčajného dusičnanu amónneho v motorovej naftě, v druhom prípade potrebujeme veľmi sofistikované mnohozložkové výbušné látky. K ich efektívnemu využitiu významne prispieva aj elektronické riadenie časového harmonogramu ich odpálenia, ktoré minimalizuje v čo najväčšej miere priestor ohrozený výbuchom. Zastavme sa pri použití explozívnej zmesi dusičnanu amónneho a motorovej nafty. V tomto prípade, podobne ako v čiernom pušnom prachu, ide o tradičnú kombináciu horľavej látky a látky poskytujúcej kyslík. V tomto prípade sa dusičnan amónny rozkladá podľa tejto reakcie:

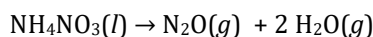


Najčastejšie mierové využitie explózií nachádzame v rôznych typoch spaľovacích motorov na ropné a syntetické palivá a zároveň v posledných rokoch aj na vodík. Energetický zisk z chemických reakcií tu zabezpečuje hlavný zdroj energie využívaný ľudstvom pre transport ľudí a materiálov. Ďalšie využitie nachádzame v automobilových airbagoch. Z hľadiska spotreby energie je toto použitie úplne neporovnateľné s tým prvým, avšak jeho význam spočíva v tom, že ide o veľmi dôležitý bezpečnostný prvok osobných áut. Princíp využitia explozívnej reakcie je tu veľmi jednoduchý, avšak technická realizácia zabezpečujúca včasné nafúknutie airbagov je pomerne komplikovaná. Súvisí s tým, že existuje veľmi úzke rozmedzie podmienok explózie, v ktorom airbag pri kolízii auta zachráni šoférovi, prípadne aj spolujazdcovi život, ale zároveň ich nezraní. O ich bezpečnosti rozhoduje mimo iné aj stabilita použitej výbušniny, čo znamená zachovanie jej schopnosti explodovať po dlhý čas rovnakým spôsobom a zároveň vylúčiť jej nechcenú explóziu.

Ak odhliadneme od traskavín, tak v zbraniach sa tlaková vlna využíva jednak na zrýchlenie projektílov a delostreleckých granátov v hlavniach pušiek a kanónov alebo aj na vytvorenie deštruktívnej tlakovej vlny v mieste zásahu bômb, delostreleckej alebo inej explozívnej munície. V tomto prípade je zloženie explozívnej náložky optimalizované na konkrétne typy vojenských cieľov. Vo všetkých týchto prípadoch má tlaková vlna explózie nadzvukovú rýchlosť s čím súvisia aj ich veľké deštruktívne účinky.

## Nechcené mierové explózie

Ak odhliadneme od každoročných nehôd spojených so zábavnou pyrotechnikou alebo zranení pri „insitných“ chemických experimentoch, tak týchto nehôd v súčasnosti nie je veľa. Na Slovensku máme dve významné. Prvý bol výbuch muničného skladu v Novákoch v roku 2007, pri ktorom zahynulo osem ľudí a asi 45 ich bolo zranených. Rovnaký počet ľudí zahynul pri výbuchu zemného plynu panelového domu v Prešove v roku 2019. Počet zranených bol tiež takmer rovnaký (40). V oboch prípadoch príčinou bolo vážne porušenie bezpečnostných predpisov. (Tu snáď stojí za zmienku, že väčšinu dnešných výbušnín by sme mohli označiť za pomerne bezpečné látky, čo však neznamená, že možno s nimi robiť čokoľvek.) Najväčšou poslednou nehodou vo svete boli v roku 2020 dve krátko po sebe nasledujúce explózie skladov v Bejrúte s takmer 3000 ton dusičnanu amónneho. (Táto látka patrí do kategórie výbušnín, avšak v neporovnateľne väčšom množstve sa používa ako dusíkaté poľnohospodárske hnojivo.) Vyžiadali si veľký počet obetí (207) a zranených (asi 6 000). Tieto explózie sú iba poslednými zo série veľkých nešťastí po celom svete v histórii masívneho využívania tejto bielej kryštalickej látky. K „mierovým“ nehodám možno prirátavať aj veľmi zriedkavé náhodné explózie automobilových airbagov. Zväčša však končili bez vážnych zranení. Napriek úplne neporovnateľne menším škodám a mimoriadne nízkym množstvám explodujúcej výbušniny, oba typy nehôd spája spoločná látka. Je ňou práve dusičnan amónny. Táto látka je chemicky stabilná až do teploty približne 170 °C a pri zahrievaní exploduje až nad teplotou 260 °C. Na explozívnom rozklade sa podieľajú tieto dve reakcie:



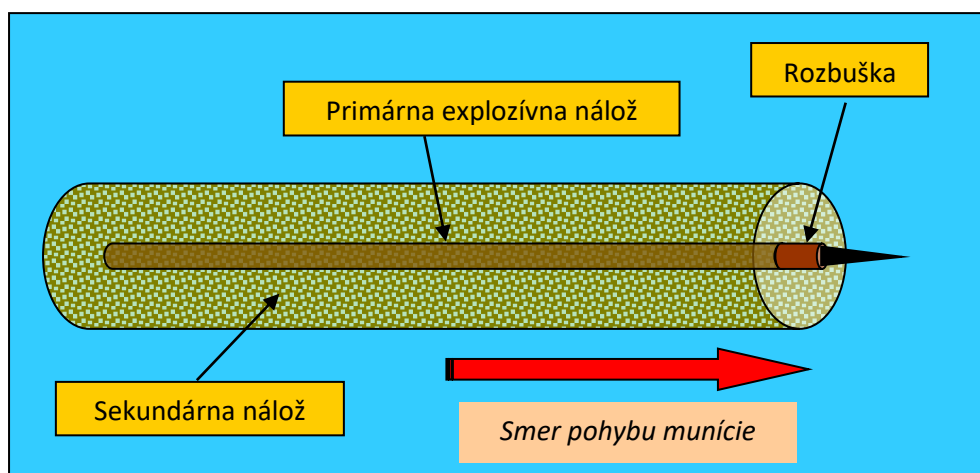
príčom hlavnou je tá prvá. Nebolo preto jasné, prečo k týmto explóziám dochádza pri bežných teplotách. Príčin je niekoľko. Patrí k nim vysoký tlak nadložia v spodných častiach veľkých skladov, zvýšená vlhkosť, organické alebo aj anorganické nečistoty alebo prímеси. Príčinou je však často ich kombinácia, ktorá výrazne ovplyvňuje rôzne medzifázové interakcie medzi časticami spomenutých látok.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  sa však používa aj ako zložka výbušnín v uhoľných a rudných baniach, kde tiež dochádza k náhodným výbuchom v dôsledku interakcií dusičnanu amónneho s vlhkým uhoľným prachom a rudnými minerálmi.

Zaujímavú skupinu havarijných explózií spôsobujú aerosóly tvorené rôznymi jemnozrnnými práškami rozptýlenými v prúde vzduchu. Tieto takmer nikdy nie sú výbušnými látkami. Zastupujú ich napríklad prachové častice suchých mletých obilnín, strukovín, častice jemnozrnných potravín ako napríklad škrobu, kaka a alebo prachového čierneho čaju, ale aj rôzne textilné vlákna. K ich výbuchu zvyčajne dochádza vo veľkých skladoch, prípadne aj priamo vo výrobných závodoch. Odpálenie týchto aerosólov spôsobuje najčastejšie elektrostatičský náboj vznikajúci pri transporte týchto látok alebo skrat elektrických vedení. Pretože možnosť a príčiny týchto havárií sú známe, v súčasnosti sú vďaka účinným opatreniam veľmi zriedkavé. Explózívne aerosóly môžu však tvoriť aj výbušné a vysoko horľavé látky ako napríklad ropné palivá a zároveň aj jemné kovové prášky. U tých posledných je však vzhľadom na vysokú hustotu kovov riziko ich rozptýlenia vo vzduchu omnoho nižšie. Hrozba explózií je aj u prachového uhlia v uhoľných skladoch a baniach. V poslednom prípade je najrizikovejší aerosól tvorený výbušnou zmesou vzduchu, metánu a uhoľného prachu. K takýmto banským výbuchom dochádza vo svete pomerne často. Napriek všeobecnému prekvapeniu laickej verejnosti z možnosti explózií aerosólov nevybušných látok, je ich vysvetlenie veľmi jednoduché. Súvisí so zväčšovaním ich interakčného povrchu pre oxidáciu. (Vo všeobecnosti to však platí aj pre iné typy reakcií.) Takže napríklad kým blok železa môžeme považovať za relatívne stabilný objekt podliehajúci iba

pomalému hrdzaveniu, oxidácia nanočastíc železa pri ich styku so vzduchom, prebieha explozívny spôsobom. Medzi oboma prípadmi existuje takmer plynulý prechod. Kvantifikovateľný podklad pre túto úvahu poskytuje údaj o špecifickom povrchu látok. V prípade kocky železa s hladkými stenami je tento povrch približne na úrovni jeho geometrického povrchu. Avšak v prípade nanočastíc môže nadobudnúť hodnoty niekoľkých stoviek metrov štvorcových na gram. Ide teda o niekoľko miliónnásobné zväčšenie.

## Termobarické zbrane

V súvislosti s najväčším súčasným vojenským konfliktom sa do pozornosti širšej verejnosti dostal zvláštny typ tzv. termobarických zbraní. Zahrňujú veľké spektrum zbraní, počnúc ručnými, delostreleckými, raketovými a končiac bombami. Tieto zbrane stoja za pozornosť najmä preto, že termobarické explózie majú dosť odlišné vlastnosti od explózií tradičnej munície. Je to spôsobené tým, že tento typ zbraní využíva tradičnú explozívnu náplň, ktorej funkciou je rozptýliť obsah druhej zložky (obr. 5). Tú tvorí zmes rôznych látok. Hlavnú časť tvoria spravidla horľavé kvapaliny, napríklad ropné palivá, prípadne syntetické látky ako napríklad etylénoxid, jedovatá horľavá látka s teplotou varu približne 11 °C alebo propylénoxid, podobná látka s teplotou varu 34 °C. Ďalšie zložky tvorí práškový dusičnan amónny, výbušnina pentrit (pentaerytritetranitrát) a práškové kovy, najčastejšie hliník a horčík. Výbušný mrak je teda tvorený aerosólom kvapalín, ich parami a zároveň prachovými časticami s rôznou veľkosťou. Zloženie druhej zložky termobarickej munície môže byť rôzne, avšak vždy je optimalizované tak, aby k jej zapáleniu došlo až s nejakým časovým oneskorením vzhľadom na explóziu primárnej nálož.



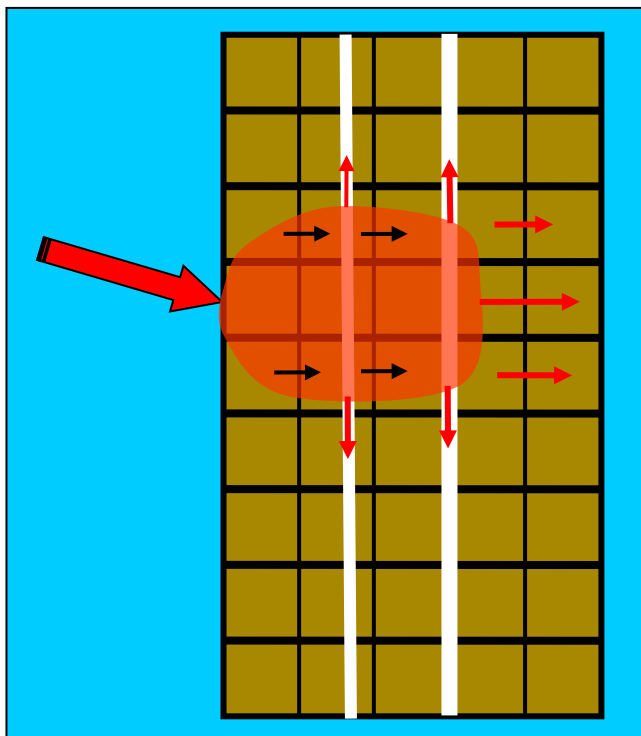
Obr. 5. Schéma termobarickej munície

Alternatívne názvy termobarických zbraní sú zbrane vákuové, aerosólové a palivové. Prívlastok „vákuové“ im bol pričlenený vďaka krátkodobému zníženiu tlaku v priestore výbuchu. (Ten je priamym dôsledkom tlakovej vlny, ktorá odčerpáva vzduch v mieste výbuchu.) Názov je však trochu mätúci, pretože k vytvoreniu hlbokého podtlaku pri výbuchu dôjsť nemôže.

Hlavnou odlišnosťou termobarických explózií je, že kým tlaková vlna pri tradičných explóziách sa šíri do okolia z veľmi úzko vymedzeného priestoru a so zväčšujúcou sa vzdialenosťou v otvorenom priestore veľmi rýchlo zaniká, výbuch termobarických zbraní je lokalizovaný na celý priestor výbušného oblaku. Vďaka tomu zasahuje výrazne väčší priestor.

Termobarické zbrane sa v doterajších vojenských konfliktoch používali aj proti nepriateľom ukrytým v úzkych a málo prístupných priestoroch bunkrov a podzemných chodieb. Súvisí to s inými charakteristikami ich tlakovej vlny vo vnútorných priestoroch. Tá je ovplyvňovaná predovšetkým ich vnútorným objemom a tvarom. Najväčšie škody však napáčajú termobarické zbrane v civilných objektoch (obr. 6). Tlaková vlna termobarických explózií má však aj jedno pozitívne využitie. Je to pri odmiňovaní, kde sa využíva

veľkoplošné pokrytie tlakovou vlnou. Na druhej strane sa z týchto zbraní v prípade zlyhania stávajú zbrane chemické, pretože pri dopade uniká toxická sekundárna nálož do okolia. To je však iba jeden z prípadov upozorňujúci na to, že vo všeobecnosti všetky vojenské konflikty vždy spôsobujú aj obrovské ekologické škody.



*Obr. 6. Šírenie tlakovej vlny pri explózii termobarickej munície v civilných objektoch.*

*Explózie sú zvlášť ničivé tým, že sekundárna nálož preniká cez ich spojovacie otvory, napríklad dvere a chodby. Výbuch ničí ich najslabšie stavebné prvky, čím umožňuje ďalšie šírenie explózie v rôznych smeroch. Takéto ich použitie je podľa medzinárodných konvencií zakázané.*

## Záver

Téma explózií a výbušnín je mimoriadne zaujímavá. Nikdy by sme však nemali zabudnúť na to, že aj keď výroba výbušnín a zbraní dala na území dnešného Slovenska prácu mnohým (a často ich tým aj zachránila od hladu a strádania) a zároveň mala hlavnú zásluhu na konjunktúre strojárského a chemického priemyslu, že v celkovom súčte sa veľkou mierou zaslúžila na strašnom ničení Európy v dvoch svetových vojnách. Preto túto výrobu nemôžeme spájať iba s menom Alfréda Nobela a jeho cenami za chémiu, fyziku, medicínu, mier a literatúru, ale aj s vojnovými zločincami vojenských elít niekdajšej *Habsburskej monarchie* alebo napríklad aj s nacistickým zločincom Hermannom Göringom so svojimi zbrojárskymi podnikmi na Považí a vražednou chemickou firmou IG Farben v niekdajšom Slovenskom štáte v rokoch 1939 až 1945. Viniť však zato tých pár exotermických reakcií alebo dokonca ľudí, ktorí nemali mnoho iných možností ako sa uživiť, by bolo asi dosť nespravodlivé.

## Odporúčané zdroje

Podrobnejšie informácie o témach diskutovaných tomto článku možno nájsť vo voľne prístupnej anglickej verzii encyklopédie Wikipedia pod heslom „Explosive“.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Explosive>



Ako hlavný zdroj detailných chemických informácií o výbušninách možno odporučiť monografiu „*Organic Chemistry of Explosives*“ od autorov Jai Prakash Agrawala a Roberta Dale Hodgsona (2006), John Wiley & Sons, Ltd., ISBN 9780470029671.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470059364>

Populárno-vedecký prístup k tejto téme je k dispozícii v týchto článkoch:

K. Jesenák: História výroby výbušnín v Bratislave, *Čs. čas. fyz.*, **71** č. 2 (2021) s. 147 – 150.

K. Jesenák: Termobarické zbrane, *Čs. čas. fyz.*, **72** č. 3 (2022) s. 184 – 186.

K. Jesenák: „Záchranný vankúš“, *Quark* **5**, (2016) s. 44 – 45.

Téme výbušnín bol venovaný aj rozhovor v časopise *Quark*:

K. Jesenák: „Dve tváre explózií“ *Quark* **7**, (2022) s. 16 – 19.