

# Termobarické zbrane

Karol Jesenák

Bradáčova 1, 851 02 Bratislava

História území dnešnej Českej a Slovenskej republiky je úzko spojená s výrobou výbušnín. Počiatky ich priemyselnej výroby spadajú do konca 19. storočia a sú nerozlučne späté s podnikmi *Dynamit Nobel* v Zámkoch pri Prahe a v Bratislave. Na stránkach tohto časopisu im bola venovaná pozornosť v dvoch článkoch Prokopa Jandeka [1] a Karola Jesenáka [2]. Princípy vojenského využitia výbušnín sú viacmenej známe. V súvislosti s vojnou na Ukrajine sa však širšia verejnosť asi prvýkrát zoznámila s ich netradičným použitím v termobarických zbraniach. Snaha o prílišnú popularizáciu tejto témy viedla však v tlači k mnohým nepresnostiam a nekorektným záverom. Tento text sa ich pokúša korigovať, pričom pozornosť sa venuje fyzikálnej a chemickej podstate explózií termobarickej munície.<sup>1</sup>

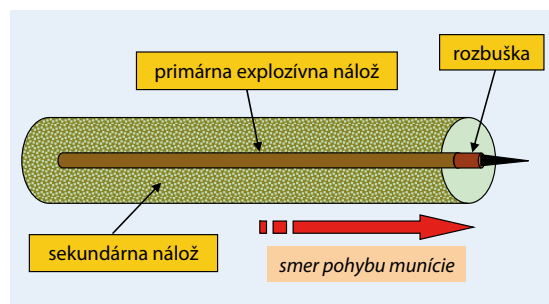
## Tradičné konvenčné zbrane

Princíp fungovania termobarických zbraní sa lepšie chápe, ak ho porovnáваме s tými tradičnými. Ten spočíva vo vytvorení tlakovej vlny v dôsledku rýchlej premeny tuhej, prípadne kvapalnej látky na látku plynnú. Prívlastok „rýchla“ (s konkrétnou kvantifikovateľnou hodnotou) má tu podstatný význam, pretože diskvalifikuje pre takéto použitie mnoho známych dejov, napríklad fázovú premenu vody alebo horenie tuhých a kvapalných fosilných palív. V prvom prípade je obmedzením výrazne endotermická povaha premeny, ktorá vyžaduje mať k dispozícii externý zdroj energie. V druhom prípade je táto premena závislá na dotácii kyslíkom.

Riešením je teda využitie určitých typov chemických reakcií, ktoré nie sú závislé od externého zdroja energie a kyslíka. Ak je pre ich priebeh potrebný kyslík, ten je súčasťou látok vo výbušnej zmesi. V čiernom pušnom prachu je to dusičnan draselný ( $\text{KNO}_3$ ). Látky, ktoré ho v ňom prijímajú sú síra a uhlík v podobe prachu z dreveného uhlia. Uvedená reakcia spadá do kategórie oxidačných reakcií.

Základom moderných výbušnín sú však molekuly takých látok, ktoré explodujú bez kyslíka, takže príslušná chemická rovnica explózie má na ľavej strane

1 Tento článok obsahuje časti textu publikované jeho autorom na webových stránkach časopisu „týždeň“ (K. Jesenák: „Termobarické zbrane“, „týždeň“, 25. 4. 2022) <https://www.tyzden.sk/spolocnost/84183/termobaricke-zbrane/>



Obr. 1. Všeobecná schéma termobarickej munície.



Obr. 2 Ruský ručný granátomet GM-94. Zdroj: Wikipedia

vzorec iba jedinej zlúčeniny. Nárast počtu molekúl na pravej strane rovnice je približne desaťnásobný. Ďalší významný prírastok objemu je spôsobený nárastom teploty v dôsledku reakčného tepla. Celkové zväčšenie objemu sa tak pohybuje na úrovni 10 000 násobku pôvodného objemu výbušniny. Táto premena prebiehajúca v zlomku sekundy je zodpovedná za obrovské zvýšenie tlaku v uzavretých priestoroch nábojníc, bômb a delostreleckých granátov. Tlaková vlna je následne využitá na zvýšenie pohybovej energie projektilov a črepín u explodujúcej munície.

## Termobarické zbrane

Tento typ zbraní využíva jednak tradičnú explozívnu náplň, ktorej funkciou je rozptýliť obsah tej druhej zložky (obr. 1). 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  $11^\circ\text{C}$  alebo propylénoxid, podobná látka s vyššou teplotou varu ( $34^\circ\text{C}$ ). Ďalšie zložky tvorí práškový dusičnan amónny (najčastejšie používaný ako dusíkaté poľnohospodárske hnojivo), výbušnina pentrit (pentaerythrittetranitrát), práškový hliník alebo iné práškové kovy, najčastejšie horčík. Z uvedeného vyplýva, že výbušný mrak je tvorený aerosólom kvapalín, ich para-



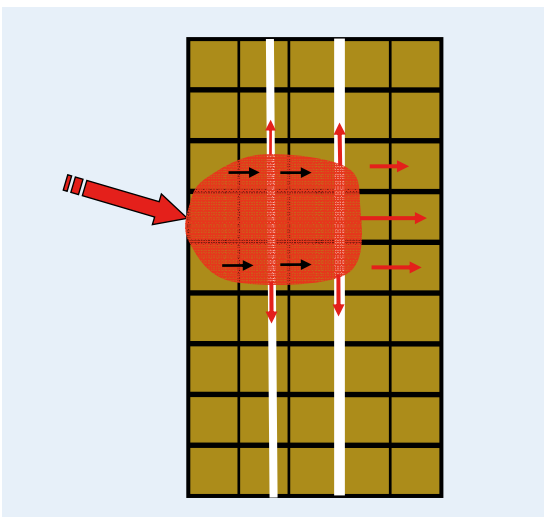
**Obr. 3** Americká letecká bomba GBU-43/B označovaná ako MOAB (Massive Ordnance Air Blast Bomb) pred Múzeom výzbroje letectva, Eglin Air Force Base, Florida. Zdroj: Wikipedia

mi a zároveň prachovými časticami. V rôznych zdrojoch uvádzané označenie „aerosólový mrak“ a príslušné zbrane ako aerosólové bomby alebo aerosólová munícia, je teda výrazným zjednodušením. Zloženie druhej zložky termobarickej munície môže byť rôzne, avšak vždy je optimalizované tak, aby k jej zapáleniu došlo až s nejakým časovým oneskorením vzhľadom k explózií primárnej nálože. Vzhľadom na vysoké riziko okamžitého vznietenia druhej zložky, práve vyriešenie tohto problému predstavuje zásadnú komplikáciu pri konštrukcii tejto munície.

Termobarické, aerosólové, vákuové prípadne aj palivové zbrane zahŕňujú veľké spektrum zbraní, počnúc ručnými (obr. 2), delostreleckými, raketovými zbraňami a končiac bombami (obr. 3), vrátane tých, ktoré sú zhadzované na padáku.

### Odlišnosti oboch typov explózií

Pri tradičných explóziách sa tlaková vlna šíri do okolia z veľmi úzko vymedzeného priestoru a so zväčšujúcou



**Obr. 4** Šírenie tlakovej vlny pri explózií termobarickej munície v uzavretých priestoroch závisí od mnohých stavebných vlastností týchto priestorov. Ich explózie v civilných objektoch sú zvlášť ničivé tým, že sekundárna nálož preniká cez ich spojovacie otvory, napríklad dvere a chodby. Samotný výbuch však ničí ich najslabšie stavebné prvky ako sú napríklad sadrokartónové, sklenené alebo drevené priečky, čím umožňuje ďalšie šírenie explózie v horizontálnom smere. Vertikálny prienik horiaceho mraku sekundárnej nálože cez schodiská a výťahové šachty zasahuje celú budovu.

sa vzdialenosťou v otvorenom priestore veľmi rýchlo zaniká. Neškodnou sa teda stáva v relatívne malej vzdialenosti od centra výbuchu. Na rozdiel od nej, výbuch termobarických zbraní je lokalizovaný na celý priestor výbušného oblaku, takže zasahuje výrazne väčší priestor. Odlišiť výbuchy oboch typov munície vo voľnom priestore je preto jednoduché aj voľným okom z veľkých vzdialeností. Termobarické explózie v tomto ohľade trochu pripomínajú svojim svetelným efektom explózie filmovej pyrotechniky, ktorá na rozdiel od tých vojenských, výrazne akcentuje vizuálny efekt pri maximálnom potlačení deštruktívnych účinkov. V prípade získania fotodokumentácie výbuchu je teda ľahké potvrdiť použitie termobarickej zbrane. Problém spočíva v ťažkostiach ich získania vzhľadom na ich zriedkavé a ťažko predvídateľné využívanie. Na druhej strane, na základe charakteru deštruktívnych účinkov a rozptylu produktov explózií, je to možné. Podmien-



**Obr. 5** Explózie termobarickej munície v blízkosti otvorov vnútorných uzavretých priestorov sú nebezpečné aj sekundárnymi tlakovými vlnami, spôsobenými odrazom primárnej vlny od ich stien. Všetky rýchle zmeny tlaku spôsobené výbuchom tu spôsobujú okrem fatálnych zranení v dôsledku nárazov osôb o steny chodieb a zranení letiacimi objektmi, aj rôzne vnútorné zranenia v miestach vyznačujúcich sa skokovou zmenou hustoty tkanív.

kou je, aby na miesta ich výbuchov mala prístup druhá strana konfliktu, čo často vyžaduje opätovné získanie konkrétneho územia.

Krátkodobé zníženie tlaku v priestore výbuchu termobarických explózií priradilo týmto zbraňam prívlastok „vákuové“. Samozrejme vytvorenie vákua v tomto prípade nepripadá do úvahy. Termobarické zbrane sa v doterajších vojenských konfliktoch používali aj proti nepriateľom ukrytým v úzkych a málo prístupných priestoroch bunkrov a podzemných chodieb (obr. 4 a 5). Súvisí to s inými charakteristikami ich tlakovej vlny vo vnútorných priestoroch v porovnaní s voľným, nezastávaným priestorom. Tá je ovplyvňovaná ich vnútorným objemom, tvarom, pevnosťou stien a mnohými inými parametrami, takže jej šírenie sa výrazne odlišuje napríklad v priestoroch jaskýň, vojenských bunkrov, alebo obytných budov. Tu významnú úlohu zohráva pretláčanie výbušných látok druhej nálože aj cez malé otvory v stenách, takže ich devastačný účinok môže byť veľký.

Jedna z často opakovaných informácií o týchto výbuchoch hovorí, že „spaľuje“ všetok dostupný vzdušný kyslík a ten je zároveň aj príčinou vzniku podtlaku. V skutočnosti sa jedná o spotrebu kyslíka pri horení organických kvapalín a kovových práškov. Napriek tomu, že niektoré zložky sekundárnych náloží kyslík k výbuchu vôbec nepotrebujú a dokonca ho môžu aj uvoľňovať, celkovo je explózia závislá od vzdušného kyslíka. Ten je však aspoň v prípade horenia hlavných



Obr. 7

Série fotografií vzplanutia oblaku múky rozptýlenej stláčaným vzduchom a zapálenej detonátorom. Interval od rozptýlenia do konca sekvencie je asi 2 s. Foto: Hans-Peter Scholz, zdroj: Wikipedia

zložiek (organických kvapalín) nahradzovaný plynými splodinami horenia, ktoré tvorí prevažne oxid uhličitý, oxid uhoľnatý a vodné pary.

### Tvrdenie o najničivejšej konvenčnej zbrani

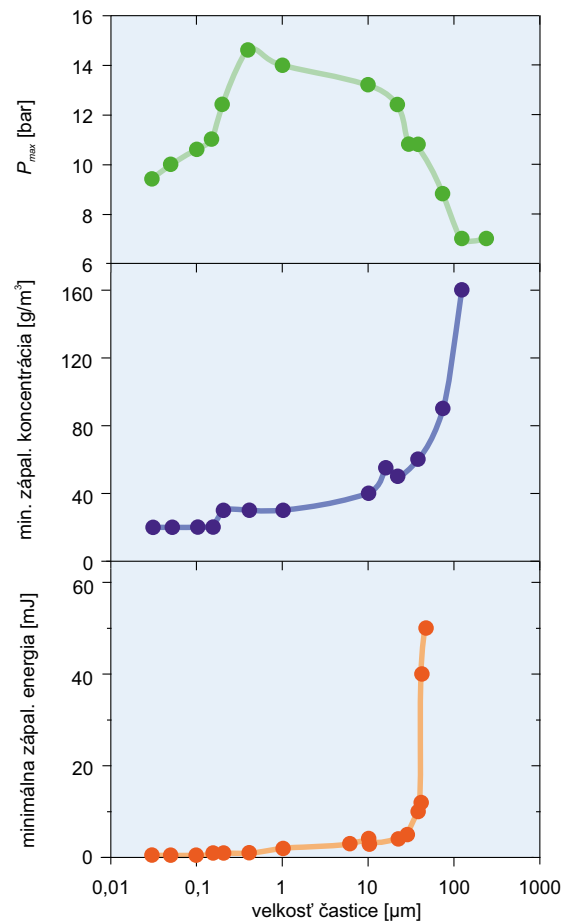
Napriek tomu, že primárne vojenské zdroje tohto tvrdenia možno považovať vcelku za kompetentné, možno vyjadriť o ňom vážne pochybnosti. Tou prvou je, že účinnosť zbraní je možné porovnávať iba v rámci určitej konkrétnej kategórie. Každá z nich je konštruovaná na nejaké špecifické použitie a mimo neho môže byť menej alebo úplne neúčinná. Druhý vyplýva z toho, že už bez ohľadu na účel použitia, môžu konvenčné zbrane využívať iba tú energiu, ktorá je v nich kumulovaná v podobe väzieb medzi atómami molekúl výbušnín. Tú môžu využívať lepšie alebo horšie, avšak určitú medznú hodnotu prekročiť nemôžu. Tá je k dispozícii v rôznych chemických databázach. Informácie o zložení sekundárnych explozívnych náloží týchto zbraní a princíp ich fungovania, však dôvod k takému záveru nedáva.

### Nebojové aerosólové výbuchy

Termobarické výbuchy majú aj svoju „civilnú“ alternatívu. Sú to nechcené výbuchy rôznych jemnozrnných práškov v prúde vzduchu. Tie môžu mať povahu organických alebo anorganických látok (viď tab. 1). Prvé sú zastúpené napríklad uhoľným prachom,<sup>2</sup> aerosólmi ropných palív, textilnými vláknami, prachovými časticami obilnín, mletých strukovín, semien a časticami jemnozrnných potravín, napríklad múky, škrobu, prachového čaju a kakaia [3]. Druhé zastupujú predovšetkým kovové prášky (obr. 6) [4]. Výbuchy tých prvých sú vzhľadom na ich nižšiu hustotu, a tým aj vyššiu tendenciu zostať vo vzduchu, častejšie. Ich výbuch, ku ktorému dochádza spravidla v sýpkach a skladoch potravín, kontajneroch uhlia a ropných palív je občasne spôsobený elektrickými skratmi alebo elektrostatickými výbojmi vznikajúcimi pri ich transporte.

Inou kategóriou takýchto nebezpečných látok sú nanočastice niektorých kovov, ktoré sú samovznietivé (pyroforické) a vo väčších množstvách explodujú okamžite pri styku so vzduchom. Veľkosť ich častíc sa občasne pohybuje na úrovni niekoľkých málo desiatok nanometrov. V oboch skupinách látok je riziko ich explózie spôsobené zvyšovaním reaktivity tuhých častíc v dôsledku zväčšovania ich interakčného povrchu.

2 P. Tykal v [3] uvádza: „Výbuchy uhelného prachu ... zasahujú celú rozsáhlá pole dŕlní, ničie jak životy, tak majetek. Zvláště nebezpečné jsou tyto katastrofy ve velkých dolech. Tak v r. 1906 ve Francii byly zničeny tři doly výbuchem uhelného prachu, v rozloze 400 ha a zahynulo přes 1000 lidí.“



Obr. 6 Parametre vzplanutia mikro/nano-častic horčička v závislosti od veľkosti častíc: a) Maximálny pretlak vytvorený výbuchom, b) minimálna zápalná koncentrácia, c) minimálna zápalná energia. (Upravené podľa [4]).

Je zaujímavé, že pre ilustráciu výbuchu termobarických zbraní použila wikipédia práve explóziu občasnej hladkej múky (obr. 7).<sup>3</sup>

### Referencie

- [1] P. Jandek: Dynamitka Alfréda Nobela v Zámčích u Prahy – 150 let. *Čs. čas. fyz.* 71, 138–146 (2021).
- [2] K. Jesenák: História výroby výbušnín v Bratislave. *Čs. čas. fyz.* 71, 147–151 (2021).
- [3] P. Tykal: *Prach v průmyslu*. Nakl. Práce, Praha 1947.
- [4] N. Nazneen, Q. Wang (eds.): *Evaluation of fire and explosion hazards of nanoparticles*. Fire Protection Research Foundation 2017 (dostupné on-line: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Hazardous-materials/RFFireExplosionHazardNanoParticles.ashx>)

3 Vid' [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermobaric\\_weapon](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermobaric_weapon)

materiál	veľkosť zŕn (nm)	max. pretlak (bar)	MIC (g/m <sup>3</sup> )	MIE (mJ)
alumínium	3 000	9,8	-	14
železo	4 000	3,5–4,5	220	-
horčík	1 000	14	30	2
uhlie	5 500	-	133	-
múka	21 100	0,06–0,18	110	-
polyetylén	5 500–76 000	-	46–49	-
kremík	4 000	7,7	200	-

Vysvetlivky: Doba horenia je interval od zapálenia po maximálny pretlak, MIC – minimálna zápalná koncentrácia aerosólu, MIE – minimálna zápalná energia.

Tab. 1 Vybrané parametre explózií aerosólov práškových materiálov (upravené podľa [4])

<https://ccf.fzu.cz>