

kpt. mgr inż. Jacek BORKOWSKI\*

dr inż. Eugeniusz MILEWSKI\*

dr hab. inż. Bogdan ZYGMUNT\*\*

\*Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

\*\*Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki

## AMUNICJA TERMOBARYCZNA - RODZAJ AMUNICJI PRZESTRZENNEJ

*W artykule przedstawiono definicje amunicji przestrzennej oraz amunicji termobarycznej. Scharakteryzowano efekt wydłużenia czasu trwania impulsu nadciśnienia fali uderzeniowej podczas wybuchu przestrzennego, który znalazł zastosowanie w amunicji termobarycznej. Przedstawiono materiały wybuchowe, które proponuje się do wywołania tego efektu. Zaprezentowano przykłady amunicji wojskowej, w których zastosowano ładunki termobaryczne.*

### 1. Wstęp

Wybuchy przestrzenne są destrukcyjnym zjawiskiem dosyć powszechnie występującym w przemyśle. Wybuchy pyłu w elewatorach zbożowych, kopalniach, młynach czy innych zakładach produkcyjnych są stałym zagrożeniem, przed którym należy chronić się poprzez zastosowanie odpowiednich przedsięwzięć technicznych i organizacyjnych. Niszczące skutki niezamierzonych eksplozji mieszanin wybuchowych typu ciało stałe/gaz oraz mieszanin typu ciecz/gaz spowodowały duże zainteresowanie zjawiskiem wybuchu przestrzennego. Zainteresowania te poskutkowały opracowaniem skutecznych metod ochrony przed wybuchami takiego typu mieszanin. Innym kierunkiem badań stało się praktyczne wykorzystanie zjawiska wybuchu przestrzennego. Pierwszymi próbami wykorzystania tego zjawiska w technice wojskowej były bomby paliwowo-powietrzne. W literaturze anglojęzycznej zjawisko to jest nazywane *fuel-air explosives* (FAE or FAX) a także czasami *fuel-air munitions* lub *vacuum bombs*. W polskim nazewnictwie odpowiednikiem tych terminów jest nazwa amunicja paliwowo-powietrzna [1,2].

Kolejnym krokiem nad praktycznym wykorzystaniem zjawiska wybuchu przestrzennego było opracowanie mieszanin wybuchowych typu ciało stałe/powietrze [3]. W końcu lat 60. XX w. W USA, w trakcie trwającego konfliktu w Wietnamie, uruchomiono program badawczy mający na celu określenie przydatności nowej generacji górniczych MW – zawieszinowych, do zastosowania w amunicji lotniczej o dużym tonażu. Opracowano i przeprowadzono testy z wielko tonażową bombą lotniczą zawierającą jako ładunek wybuchowy 5,7 t zawieszinowego MW. Zastosowany MW posiadał oznaczenie GSX, co można odszyfrować jako *gelled slurry explosive*. Źródła podają następujący skład: saletra amonowa, aluminium i polimer. Zjawiska następujące w trakcie wybuchu bomby BLU-82 są porównywane do działania amunicji paliwowo-powietrznej. Po detonacji ogromnego ładunku wybuchowego powstawał wolny od roślinności teren o średnicy kilkuset metrów. Dzięki wybuchowi bomby ponad powierzchnią gruntu, w centrum wybuchu nie powstawał krater, jednakże w najbliższym sąsiedztwie gleba ulegała utwardzeniu, co korzystnie wpływało na jakość lądowiska śmigłowców. W literaturze podaje się, że w pierwszym etapie działania

bomby ma miejsce rozproszenie ładunku w powietrzu za pomocą mniejszego ładunku wybuchowego, a następnie detonacja rozproszonego ładunku zainicjowana silnym detonatorem. Taki opis dokładnie odpowiada działaniu amunicji paliwowo-powietrznej, wydaje się jednak wątpliwe, aby taki był przebieg detonacji bomby BLU-82 zawierającej zawieszinowy MW. Bardziej prawdopodobne jest, że w pierwszym etapie następuje detonacja całego ładunku bomby na skutek pobudzenia silnym detonatorem. Zakładając, że w ekspandujących produktach detonacji znajduje się nadmiar nie przereagowanych cząstek aluminium o wysokiej temperaturze, jest wysoce prawdopodobna egzotermiczna reakcja dopalania z wykorzystaniem tlenu atmosferycznego. Dopalenie może wytwarzać wtórny płomień widziany dla obserwatora z oddali jako drugi wybuch. Dopalenie produktów wybuchu przedłuża oddziaływanie impulsu ciśnienia na otoczenie co zwiększa efekty niszczące wybuchu.

Następna wersja amunicji przestrzennej zawierała w ładunku wybuchowym klasyczne kruszące MW. Środkiem do wytworzenia wybuchu przestrzennego były skondensowane mieszaniny wybuchowe z silnie ujemnym bilansem tlenowym, detonujące z umiarkowaną prędkością i wytwarzające obłok produktów detonacji zawierających składnik palny (rozdrobiony metal), który ulegał samozapłonowi po wymieszaniu z powietrzem. Cechą charakterystyczną wybuchu takich mieszanin jest zdolność do generowania w otoczeniu intensywnych fal ciśnienia o wydłużonym w porównaniu do klasycznych MW czasie trwania fazy nadciśnienia. Po raz pierwszy zostały opracowane w byłym Związku Radzieckim w latach 80. ubiegłego wieku i użyte skutecznie w Afganistanie i Czeczenii do zwalczania żołnierzy ukrywających się w bunkrach, budynkach, jaskiniach i wąwozach.

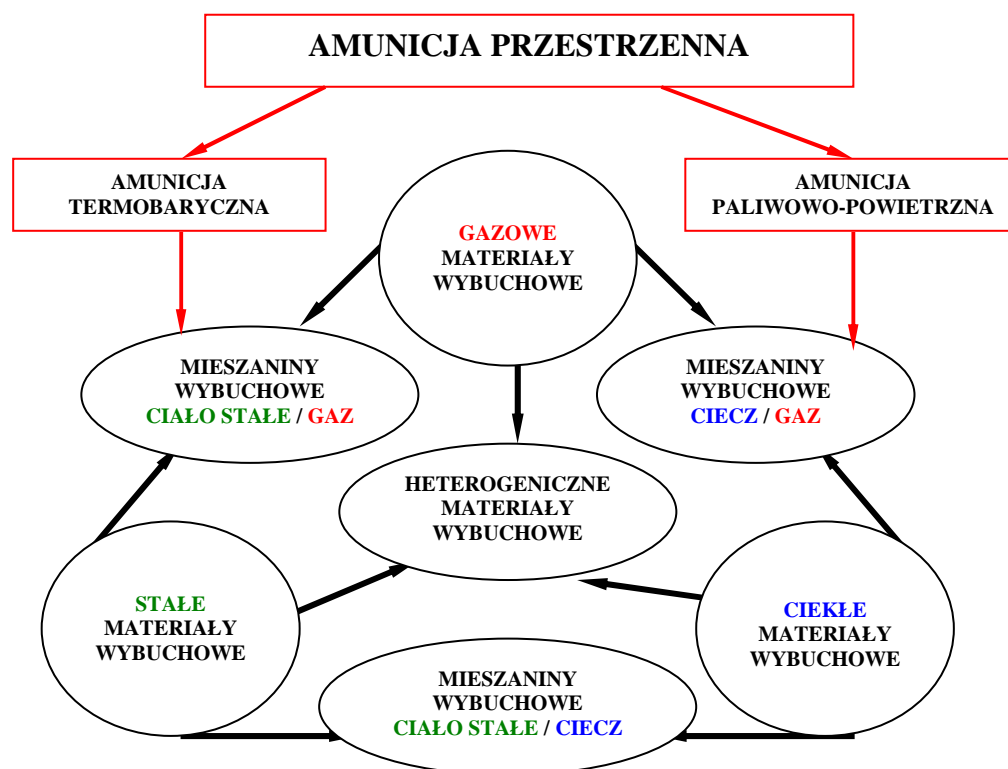
W literaturze anglojęzycznej takie mieszaniny wybuchowe noszą nazwę *enhanced-blast explosives (EBX)*, *high-impulse thermobaric weapons* lub *heat and pressure weapons (HITs)*. Podobnego terminu używa się w literaturze rosyjskojęzycznej (*термобарический эффект*). W polskim nazewnictwie brak jest odpowiedniego terminu do opisu zjawiska. Nie było ono stosowane do tej pory w polskiej technice wojskowej. Wydaje się, że stosowanie terminu „termobaryczny” do opisu efektu wybuchu, w którym czas trwania impulsu nadciśnienia został wydłużony w stosunku do klasycznych kruszących materiałów wybuchowych, jest właściwe i pozwoli na uniknięcie nieporozumień. Nazwa ta oddaje efekty oddziałujące na otoczenie w wyniku wybuchu ładunku termobarycznego – efekt termiczny oraz intensywną falę ciśnienia generowaną przez ładunek materiału wybuchowego. Prace dotyczące amunicji termobarycznej prowadzone są w WAT [4,5].

## 2. Amunicja przestrzenna

Amunicja przestrzenna (objętościowa – *volume-detonate weapon, volumetric weapon*) to rodzaj amunicji oddziałujący na otoczenie o znacznej powierzchni przede wszystkim poprzez impuls cieplny oraz falę uderzeniową, trwającą kilkakrotnie dłużej niż w przypadku klasycznych kruszących materiałów wybuchowych, wywołaną detonacją mieszaniny wybuchowej i następującej po niej wybuchowym dopalaniem produktów wybuchu z udziałem tlenu atmosferycznego. Do podstawowych rodzajów amunicji przestrzennej należy amunicja paliwowo-powietrzna oraz amunicja termobaryczna.

Istnieje kilka różnic pomiędzy ładunkami paliwowo-powietrznymi a ładunkami termobarycznymi. Źródłem pochodzenia rozprzestrzeniającej się fali nadciśnienia w ładunkach termobarycznych jest, oprócz wybuchu ładunku zasadniczego, dopalenie się stałych składników ładunku wybuchowego. W wybuchu paliwowo-powietrznym fala nadciśnienia generowana jest przez wytworzony wcześniej aerozol (układ ciecz/gaz). Podobnie jak w ładunkach paliwowo-powietrznych, w ładunkach termobarycznych następuje wykorzystanie tlenu atmosferycznego jako dodatkowego utleniacza biorącego udział

w procesie wybuchu. Zjawisko termobaryczne w ładunkach przestrzennych jest generowane poprzez wybuch pojedynczego ładunku. W bombach paliwowo-powietrznych następuje w pierwszej fazie dyspergowanie cieczy, która w powietrzu tworzy obłok, następnie pobudzany oddzielnym ładunkiem. Utleniaczem staje się tlen zawarty w powietrzu.



**Rysunek 1. Klasyfikacja materiałów wybuchowych ze względu na stan skupienia [6] a amunicja przestrzenna**

Oba efekty, ze względu na podobny mechanizm i skutki oddziaływania na otoczenie są przez niektórych autorów traktowane jako jedno zjawisko. Występuje jednak między nimi zasadnicza różnica. Efekt termobaryczny wywołują stałe mieszaniny wybuchowe, które w drugiej fazie reakcji wykorzystują tlen zawarty w powietrzu otaczającym miejsce wybuchu. W tej ostatniej fazie można je potraktować jako mieszaniny wybuchowe typu ciało stałe/gaz. Pomimo odmiennej przyczyny obu zjawisk, efekty oddziaływania na otoczenie są zbliżone do siebie [7].

## 2. Materiały wybuchowe generujące efekt termobaryczny

Materiały wybuchowe generujące efekt termobaryczny są mieszaninami wybuchowymi złożonymi z kilku składników. Zawierają zarówno klasyczne materiały wybuchowe jak również utleniacze nieorganiczne i substancje palne, głównie proszki metali lekkich. Przykładowy skład chemiczny termobarycznego materiału wybuchowego przedstawiono w Tabeli 1 [8]. Ogólną budowę ładunków termobarycznych przedstawiono na Rysunku 2. Zarówno ładunek kulisty jak i walcowy składa się z dwóch części. W środku znajduje się klasyczny kruszący materiał wybuchowy pobudzany inicjatorem. W zewnętrznej warstwie znajduje się mieszanina utleniacza i metalu aktywnego, którego cząsteczki pokryte są cienką warstwą flegmatyzatora. Wybuch klasycznego ładunku wybuchowego powoduje częściowe wybuchowe przereagowanie oraz dyspersję materiału otoczki. Mieszanina utleniacza i metalu

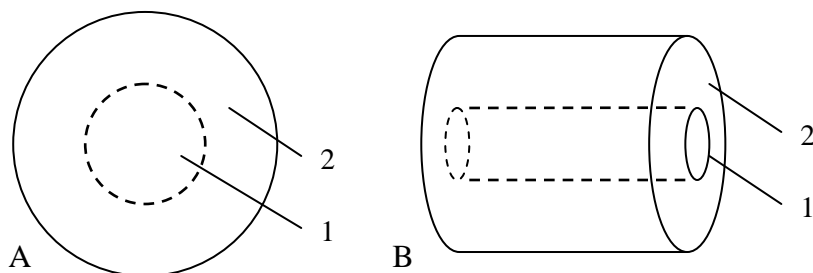
reaktywnego rozkłada się następnie z wykorzystaniem tlenu z powietrza. Wydziela się przy tym duża ilość ciepła oraz intensywne fale uderzeniowe. Masa ładunku wybuchowego z efektem termobarycznym daje więcej energii, podczas wybuchu, niż porównywalna masa klasycznego kruszącego materiału wybuchowego.

**Tabela 1. Skład termobarycznego materiału wybuchowego [8]**

Lp.	Składnik	Zawartość [%]
1.	nadchloran amonu	12 – 36
2.	metal reaktywny (aluminium)	30 – 40
3.	flegmatyzator (polimer)	4 – 7
4.	Kruszący materiał wybuchowy	30 - 55

W skład ładunków termobarycznych wchodzi klasyczne kruszące materiały wybuchowe. Do najpopularniejszych należą: oktogen (HMX, cyklotetrametylenotetraamina), heksogen (RDX, cyklotrimetylenotrinitroamina), Cl-20 (heksanitroheksaazaisowurcytan).

Do najpowszechniej stosowanych utleniaczy należy nadchloran amonu  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$  oraz azotan amonu  $-\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Stosuje się drobno sproszkowany nadchloran o rozmiarach ziarna 11 – 100  $\mu\text{m}$ . Zawartość utleniacza w mieszaninie wybuchowej to 12 – 36 %. W optymalnej mieszance wybuchowej jest go około 20 % [8]. Stosować można także inne utleniacze: sól amonową dinitroaminy  $\text{NH}_4\text{N}(\text{NO}_2)_2$  czy azotan baru  $\text{BaNO}_3$ .



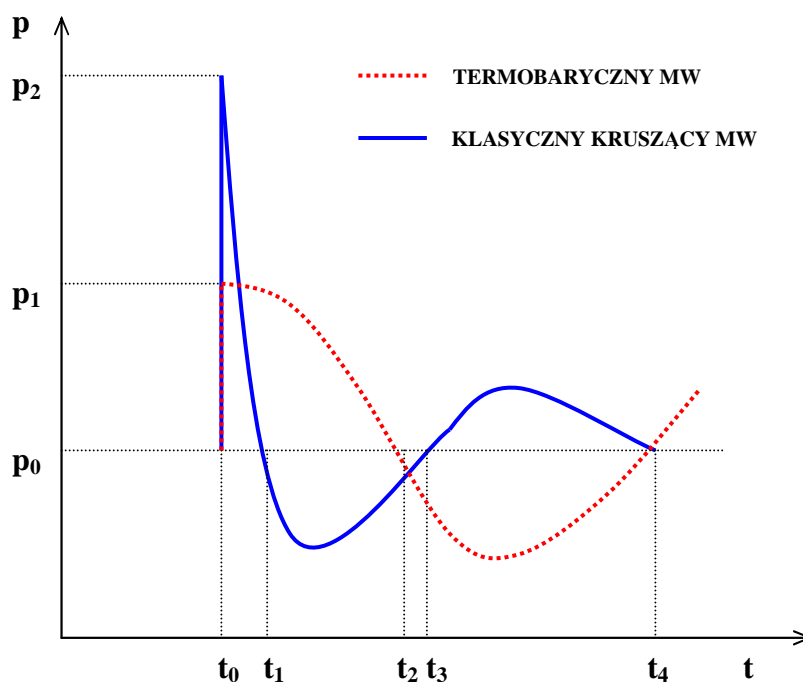
**Rysunek 2. Ogólna budowa ładunków termobarycznych: A – kulisty, B - walcowy  
1 – kruszący materiał wybuchowy, 2 – miesznina utleniacza i metalu reaktywnego**

W materiałach termobarycznych występują dwa rodzaje substancji palnych: metal reaktywny oraz związek wielkocząsteczkowy, który spełnia rolę flegmatyzatora lub jeśli zachodzi konieczność plastifikatora. Do zastosowania w odlewanych termobarycznych mieszaninach wybuchowych zostały wytypowane następujące materiały wielkocząsteczkowe: polibutadien zakończony grupą hydroksylową (HTPB), poliestry zakończone grupą hydroksylową, polietera zakończone grupą hydroksylową, polimer azydku glicydu (GAP). Oprócz powyższych związków jako flegmatyzator stosuje się również inne polimery: estry kwasu akrylowego (Zeon), pochodne heksafluoropropylenu (Viton) czy nitrocelulozę. Zawartość polimeru w mieszaninach prasowanych wynosi około 4 %, zaś w mieszaninach odlewanych około 7 % [9].

Jako metal reaktywny proponuje się zastosować drobno sproszkowane aluminium (Al), proszek tytanu (Ti), boru (B) lub magnezu (Mg). Możliwe jest stosowanie także nanostruktur tych metali. Zastosować także można dwuskładnikowe mieszaniny metali: Al – Mg, B – Mg, Al – B, Ti – B. W Stanach Zjednoczonych stosuje się także specjalne rodzaje drobno sproszkowanego sferycznego aluminium – H-2 (średnica ziarna 2  $\mu\text{m}$ ) oraz H-5 (średnica ziarna 2  $\mu\text{m}$ ) [9].

### 3. Charakterystyka efektu termobarycznego

W mieszaninach wybuchowych generujących efekt termobaryczny proces wybuchu przebiega dwuetapowo. W pierwszym stadium następuje detonacja mieszaniny a ekspandujące produkty wybuchu ulegają wymieszaniu z powietrzem. Ze względu na silnie ujemny bilans tlenowy wyjściowej mieszaniny wybuchowej, w produktach wybuchu znajdują się rozżarzone cząstki nieprzereagowanego w pełni aluminium i węgla (sadzy) oraz wodór i tlenek węgla o wysokiej temperaturze. Substancje te będą energicznie reagować z tlenem atmosferycznym, w miarę postępowania procesu ekspansji i mieszania produktów wybuchu z powietrzem. Proces ten trwa wielokrotnie dłużej niż pierwotna detonacja mieszaniny, co powoduje podtrzymanie wartości fali nadciśnienia propagującej się w powietrzu. Równowaga reakcji chemicznych zachodzących w strefie reakcji przesuwa się w kierunku maksymalizacji ciepła reakcji oraz zmniejszenia objętości produktów wybuchu. Nadmiar pyłu aluminiowego zawarty w mieszaninie termobarycznej powoduje, iż tylko określona część pyłu przereaguje bezpośrednio w strefie reakcji chemicznej przemieszczającej się bezpośrednio za frontem fali detonacyjnej w materiale wybuchowym. Wykazano, iż stopień przereagowania pyłu aluminiowego w mieszaninie z flegmatyzowanym oktogenem, przy zawartości pyłu powyżej 20 % wynosi 50 % [10].



Rysunek 3. Zależność ciśnienia  $p$  od czasu  $t$  dla termobarycznego i klasycznego kruszącego materiału wybuchowego

Obecność nadmiaru pyłu aluminiowego w termobarycznych materiałach wybuchowych powoduje kolejny etap współreagowania związków powstałych w etapie rozkładu składników materiału wybuchowego. Jest to reakcja utleniania pyłu aluminiowego tlenem zawartym w powietrzu otaczającym miejsce wybuchu. Wraz z gazowymi produktami wybuchu, w otaczającej atmosferze, rozprzestrzenia się pył aluminiowy, który nie uległ reakcji w procesie detonacji materiału wybuchowego. Gazowe produkty wybuchu, podgrzane do wysokiej temperatury powodują rozgrzanie cząsteczek pyłu rozprzestrzeniającego się w otoczeniu miejsca wybuchu i następuje jego spalanie w tlenie znajdującym się w atmosferze. Proces ten generuje dodatkowy efekt cieplny reakcji rozkładu oddziałujący na otoczenie oraz wydłuża czas trwania impulsu fali nadciśnienia i podciśnienia.

Kolejnym czynnikiem destrukcyjnym podczas wybuchu termobarycznego materiału wybuchowego jest fala podciśnienia rozchodząca się za falą uderzeniową. Bezpośrednią przyczyną jej powstania jest rozchodzenie się fali uderzeniowej, tak jak w przypadku wybuchu klasycznego kruszącego materiału wybuchowego. Efekt ten jest znacznie zwiększony (w skali jak i w odległości od miejsca wybuchu) ze względu na ubytek tlenu z powietrza znajdującego się w miejscu wybuchu. Ekspandujące gazy powybuchowe nie kompensują ubytku tlenu, co powoduje wydłużenie efektu działania fali podciśnienia na otoczenie.

Różnice pomiędzy wybuchem klasycznego kruszącego materiału wybuchowego (trotyl, heksogen, oktogen) a termobarycznym materiałem wybuchowym zobrazowano na Rysunku 3. Przedstawia on wykres zależności ciśnienia fali uderzeniowej generowanej przez materiał wybuchowy w funkcji czasu. Z wykresu wynika, iż czas trwania impulsu nadciśnienia, w przypadku termobarycznych materiałów wybuchowych, jest kilka razy dłuższy w porównaniu do impulsu nadciśnienia generowanego przez klasyczny kruszący materiał wybuchowy. Wartość amplitudy nadciśnienia jest jednak wyraźnie niższa w przypadku termobarycznych materiałów wybuchowych.

#### 4. Amunicja termobaryczna

Amunicja termobaryczna (*thermobaric weapon, термобарические боеприпасы*) to jeden z rodzajów amunicji przestrzennej, w której do generowania impulsu nadciśnienia zastosowano układ ciało stałe/gaz, co powoduje wydłużenie czasu trwania impulsu nadciśnienia w porównaniu do klasycznych kruszących materiałów wybuchowych. Podstawowym czynnikiem destrukcyjnego oddziaływania na otoczenie w przypadku wybuchu termobarycznego jest wydłużony impuls nadciśnienia oraz rozchodząca się za nim fala podciśnienia. Wraz z falą uderzeniową generowany jest intensywny impuls cieplny powodujący pożary i poparzenia. Promień oddziaływania fali uderzeniowej jest większy niż promień oddziaływania impulsu cieplnego. Dużo mniejsze znaczenie jako czynnik rażący amunicji, mają odłamki napędzone produktami wybuchu oraz toksyczne gazy powybuchowe.

Amunicja termobaryczna jest przeznaczona do obezwładniania celów lekkoopancerzonych, oraz niszczenia celów powierzchniowych (atakujące zgrupowania piechoty, stanowiska ogniowe w ugrupowaniu obrony). Amunicja ta jest skuteczna na otwartej przestrzeni ale głównie przeznaczona jest do zwalczania przeciwnika w przestrzeniach zamkniętych, takich jak tunele, jaskinie, budynki, fortyfikacje. Amunicja ta zdetonowana w zamkniętej objętości powoduje zużycie całego tlenu znajdującego się w atmosferze. To z kolei wywołuje dodatkowy efekt letalny związany z brakiem tlenu. Ze względu na to, iż intensywne fale uderzeniowe są bardzo skuteczne w terenach zurbanizowanych, to ten rodzaj amunicji wydaje się perspektywiczny do zastosowania w konfliktach o małej intensywności, które z reguły toczą się na terenach zabudowanych.

Do najczęściej stosowanych rodzajów amunicji z ładunkiem termobarycznym należą granaty miotane z granatników podwieszanych lub ręcznych (Rosja, Bułgaria, USA). Głowice termobaryczne stosuje się również w kierowanych pociskach raketowych (USA, Rosja), czołgowej amunicji kierowanej (Rosja) oraz bombach lotniczych (USA).

W Związku Radzieckim od końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku a następnie w Rosji, widać tendencję do zastępowania klasycznych głowic odłamkowo-burzących (*OΦ – осколочно-фугасный*) głowicami termobarycznymi. Wszystkie rodzaje amunicji, w których oznaczeniu występuje litera F (*Φ – фугасный*) zawierają głowice termobaryczne. Większość pocisków raketowych do zwalczania celów opancerzonych jest produkowana, oprócz w wersji ze standardową głowicą kumulacyjną, również w wersji z głowicą termobaryczną.

W Stanach Zjednoczonych zainteresowanie amunicją termobaryczną związane jest zaangażowaniem USA w konfliktach asymetrycznych. Wojny w Iraku i Afganistanie potwierdziły skuteczność amunicji z głowicami termobarycznymi. Dlatego zintensyfikowano badania, dosyć szybko wdrożono masową produkcję głowic ale także utajniono wyniki prac m.in. nad materiałami wybuchowymi oraz konstrukcją amunicji.

Poniżej przedstawiono wybrane konstrukcje amunicji, w których zastosowano ładunki termobaryczne.

#### 4.1. Bomba lotnicza BLU-82

W operacjach bojowych została zastosowana pierwszy raz w 1970 r. w Wietnamie. Najbardziej efektywnym zastosowaniem omawianej bomby o symbolu BLU-82 było oczyszczanie i utwardzanie terenów w dżungli wyznaczonych na polowe lądowiska dla śmigłowców. Ze względu na dużą masę bomby ze stelażem wynoszącym ponad 7 ton, była przystosowana do zrzucania z samolotów transportowych C-130 Hercules. Nad miejscem zrzutu, z przedziału ładunkowego samolotu, bomba umieszczona na ruchomym stelażu była wyciągana przez pomocniczy spadochron. Po opuszczeniu samolotu stelaż oddzielał się od bomby, która opadała na swoim spadochronie. Zmniejszenie prędkości opadania było uwarunkowane sposobem detonowania bomby ok. 2 m nad powierzchnią gruntu. Do tego celu służył prętowy zapalnik zamontowany w przedniej części bomby (rys. 2). Po detonacji potężnego ładunku wybuchowego powstawał teren o średnicy kilkuset metrów oczyszczony z roślinności. Dzięki wybuchowi bomby ponad powierzchnią gruntu, w centrum wybuchu nie powstawał krater, jednakże w najbliższym sąsiedztwie gleba ulegała utwardzeniu, co korzystnie wpływało na jakość lądowiska dla śmigłowców. Ze względu na obserwowane skutki oddziaływania wybuchu na roślinność porastającą dżunglę, nowa bomba została ochrzczone nieformalną nazwą *daisy cutter* (kosiarka stokrotek). Parametry techniczne bomby BLU-82: masa całkowita – 6800 kg (bez stelaża), masa MW – 5715 kg, długość – 3,60 m (bez wysuniętego zapalnika prętowego, średnica – 1,37 m. W większej skali zastosowano je powtórnie w trakcie inwazji na Afganistan w 2001 r. Obiektem nalotów amerykańskich z użyciem BLU-82 był górski kompleks podziemnych tuneli i jaskiń Tora Bora. Rejon ten uważany był za bazę szkoleniową i siedzibę dowództwa wojskowego talibów. Detonacja bomby o dużej masie MW na dnie głębokich dolin górskich powodowała powstanie silnej fali uderzeniowej w powietrzu i niszczącej fali sejsmicznej rozchodzącej się w skalnym ośrodku, znacznie silniejszych niż w przypadku detonacji na otwartej przestrzeni.



Rysunek 4. Widok bomby lotniczej BLU-82 („Daisy cutter”)

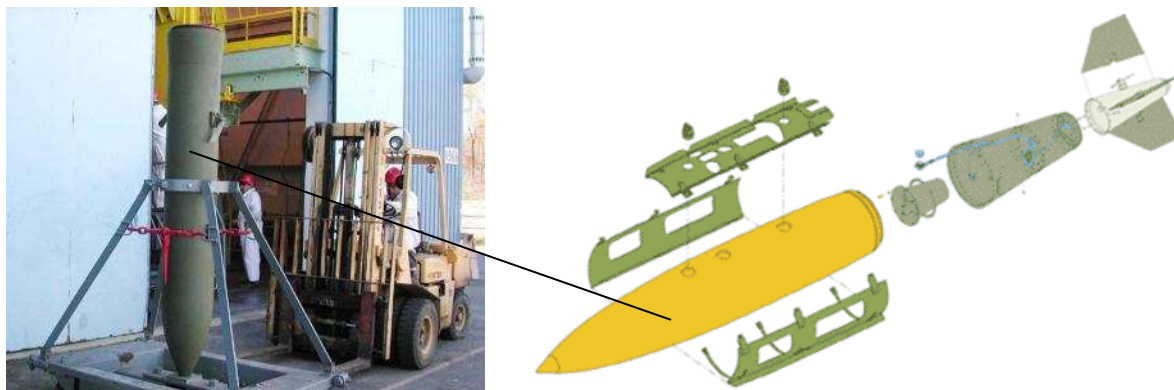
Następnym teatrem wojennym gdzie użyto bomby napełnionej zawieszonym MW była wojna w Zatoce Perskiej w 2003 r. Stosowano je na otwartej przestrzeni do prób niszczenia



nierozpoznanych pól minowych. Źródła wojskowe podały, że w tej wojnie zrzucono 11 bomb BLU-82. Walory bojowe i użytkowe bomby BLU-82 były na tyle atrakcyjne, że Siły Powietrzne USA zleciły opracowanie jeszcze większej bomby tego typu. W 2003 r. przetestowano nową bombę GBU-43 o masie 9,8 t zawierającej 8,5 t materiału wybuchowego GSX. Długość bomby wynosi 9m, średnica 1,03 m i może być zrzucana z samolotów B-52 Stratofortress, B-2 Spirit oraz C-17 Globemaster. Dodatkowym oznaczeniem tej bomby jest MOAB, co można odszyfrować jako *mother of all bombs* (matka wszystkich bomb). MOAB jest bardziej precyzyjnym narzędziem zniszczenia, ponieważ jest bombą szybującą naprowadzaną na cel głowicą z systemem inercyjno-żyroskopowym i odbiornikiem GPS [3].

#### 4.2. Bomba BLU-118/B (USA)

Bomba BLU-118/B jest bombą penetrującą, służącą do zwalczania celów znajdujących się pod ziemią (bunkry, jaskinie). Została opracowana i przetestowana w 2001 roku na specjalne zamówienie armii amerykańskiej, ze względu na brak skutecznych środków bojowych do niszczenia baz bojowników islamskich usytuowanych w jaskiniach prowincji Gardez w Afganistanie. Została tam zastosowana.



**Rysunek 5. Bomba BLU118-B przed badaniami (z lewej) oraz docelowe rozwiązanie konstrukcyjne bomby kierowanej z głowicą termobaryczną (z prawej)**

Zawiera głowicę termobaryczną, w której zastosowano małowrażliwy materiał wybuchowy PBXIH-135 opracowany przez Naval Air Warfare Center. Wyposażona jest w zapalnik FMU 143J/B, który został wyposażony we wzmacniony detonator oraz zastosowano w nim 120 milisekundowe opóźnienie. Korpus bomby jest przystosowany do zastosowania w systemach bomb kierowanych GBU-15, GBU-24, GBU-27 oraz GBU-28. Masa bomby wynosi około 1000 kg [11].

#### 4.3. 40 mm nabój DRACO do granatnika podwieszanego (USA)

DRACO – *Direct Range Air Consuming Ordnance* – to 40 mm granat termobaryczny przystosowany do wystrzeliwania z granatników M79, M203 oraz Milkor MK-1 podwieszanych pod karabiny M16, M16A1 oraz M16A2. Jest produkowany przez amerykańską firmę Martin Electronics Inc. Stosowany przez armię USA.



**Rysunek 6. 40 mm nabój DRACO**



Masa naboju 220 g. Długość – 120 mm. Pocisk o masie 90 g, wykonany ze stali, leci do celu z prędkością 80 m/s na odległość do 400 m. Podczas lotu jest stabilizowany obrotowo. Pocisk zaelaborowano materiałem wybuchowym wywołującym efekt termobaryczny (EBX – Enhanced Blast Explosive). Uzbrojony jest w zapalnik uderzeniowy SF801/M550. Fragmenty stalowego płaszcza pocisku mają energię zdolną do przebicia płyty stalowej o grubości 65 mm. Nabój przeznaczony jest do zwalczania piechoty na otwartym terenie oraz do walki w terenie zurbanizowanym [12].

#### 4.4. Pocisk raketowy HELLFIRE AGM-114N (USA)

Pocisk produkowany jest przez Lockheed Martin Corporation, zaś głowica termobaryczna MAC, opracowana w Naval Air Warfare Center, jest produkowana przez firmę Alliant Techsystems. W sierpniu 2005 Wojska Lądowe armii amerykańskiej zamówiły 900 sztuk pocisków AGM-114N z terminem dostawy do 2007 roku. Zamówienie to dotyczyło również modernizacji 100 szt. starszych pocisków do wersji z głowicą termobaryczną. Zamówienie zostało podyktowane dużą skutecznością pocisków podczas operacji Iracka Wolność, w której wystrzelono około 1000 sztuk pocisków Hellfire różnych wariantów. Zaobserwowano dużą przydatność pocisków z głowicą termobaryczną podczas walk w terenie zurbanizowanym. W szczególności zwróciła uwagę duża skuteczność w zadawaniu strat żołnierzom przeciwnika przy stosunkowo niewielkich zniszczeniach otoczenia.



Rysunek 7. Przekrój pocisku raketowego HELLFIRE AGM-114N

Masa – 48 kg. Długość – 163 cm. Średnica – 17,8 cm. Zawiera termobaryczny ładunek bojowy (*MAC – Metal Augumented Charge*) o masie około 4 kg. Skuteczny przeciwko okrętom lub strukturom zamkniętym, takich jak jaskinie, tunele czy bunkry [13].

#### 4.5. Granat RPO-A Trzmiel (Rosja)

Prace nad granatem zawierającym ładunek termobaryczny rozpoczęły się w 1984 roku. Wprowadzono go na uzbrojenie w roku 1988. Granat znajduje się na wyposażeniu wojsk powietrzno-desantowych oraz piechoty morskiej. Służy do niszczenia bunkrów, umocnionych stanowisk ogniowych oraz obezwładniania wozów lekkoopancerzonych. W Afganistanie używano go do penetrowania jaskiń i niszczenia stanowisk ogniowych bojowników islamskich.



Rysunek 8. Granat RPO-A Trzmiel oraz wyrzutnie granatu w położeniu marszowym

Pojedyncza wyrzutnia, o długości 92 cm, wraz z granatem o kalibrze 93 mm waży 11 kg. Głowica termobaryczna ma masę około 6,5 kg. Maksymalny zasięg granatu to 1000 m, minimalny – 20 m, zaś efektywny to 600 m. Prędkość początkowa granatu wynosi 125 m/s. Pocisk zdetonowany w pomieszczeniu zamkniętym obejmuje swoim oddziaływaniem 80 m<sup>3</sup>, zaś zdetonowany w obszarze otwartym obejmuje swoim oddziaływaniem 50 m<sup>2</sup>.

Jedną z nowszych wersji granatu zawiera głowicę tandemową. W jej przedniej części umieszczono ładunek kumulacyjny, który ma za zadanie utorować drogę do wnętrza pomieszczenia ładunkowi zasadniczemu zawierającemu głowicę termobaryczną [14].

#### 4.6. 125 mm pocisk kierowany 9M119F (Rosja)

Pocisk 9M119F jest przeznaczony do zwalczania celów powierzchniowych (ugrupowanie piechoty w obronie lub natarciu), oraz do walki w terenie zurbanizowanym do niszczenia stanowisk ogniowych za pomocą fali uderzeniowej. W przypadku bezpośredniego trafienia w obiekt możliwe jest jego całkowite zniszczenie. Pocisk jest naprowadzany na cel półautomatycznie laserowo z wykorzystaniem systemu kierowania ogniem czołgu.



**Rysunek 9. Pocisk kierowany 9M119F wraz z ładunkiem miotającym 9Ch949**

Wystrzeliwany jest z armaty czołgowej – stąd kaliber pocisku - 125 mm. Na maksymalną odległość pocisk leci przez 16 sekund. Może zniszczyć cel w odległości do 5000 m. Zasięg minimalny - 100 m. Długość pocisku 695 mm. Masa pocisku 16,5 kg. Jest wyposażony w ładunek termobaryczny o masie 7,1 kg i długości 385 mm [15].

#### 4.7. Kierowane pociski rakietowe 9M114F Szturm oraz 9M120F Ataka (Rosja)

Kierowany pocisk rakietowy 9M114F Szturm (AT-6 Spiral) jest wyposażony w głowicę termobaryczną (Rysunek 6). Kaliber pocisku – 130 mm. Zasięg pocisku wynosi od 400 do 5000 m. Prędkość pocisku - 400 m/s.



**Rysunek 10. Przekrój głowicy termobarycznej kierowanego pocisku rakietowego 9M114F (z lewej)**

**Głowice bojowe pocisku 9M120F – w środku głowica termobaryczna (z prawej)**

Służy do obezwładniania celów lekkoopancerzonych, niszczenia fortyfikacji polowych oraz umocnionych stanowisk ogniowych. Następcą pocisku 9M114F Szturm został kierowany pocisk rakietowy 9M120F Ataka. Zasięg pocisku został wydłużony do 6000 m. Prędkość maksymalna pocisku wynosi 550 m/s. Wyrzutnie pocisków montowane są na śmigłowcach Mi-24V oraz na transporterach opancerzonych. Wybuch głowicy jest porównywalny ze skutkami wybuchu 9,5 kg TNT [16].

#### 4.8. Granat GTB-7G (Bułgaria)

Granat służy do obezwładniania wozów lekkoopancerzonych, niszczenia umocnionych stanowisk ogniowych oraz do walki w terenie zurbanizowanym. Jest produkowany przez *Вазовский Машиностроительный Завод* z Sopotu.



**Rysunek 11. Granat GTB-7G (poniżej) z głowicą termobaryczną.  
Granat OG-7VE (na górze) z głowicą odłamkowo-burzącą**

Został przystosowany do wystrzeliwania z ręcznego granatnika przeciwpancernego RPG-7. Maksymalny zasięg lotu granatu wynosi 1000 m. Kaliber – 93 mm. Prędkość początkowa - 66 m/s. Masa granatu wynosi 4,7 kg, zaś długość 1,12 m. Energia wybuchu głowicy termobarycznej jest równoważna wybuchowi 2 kg TNT [14].

## 5. Podsumowanie

Efekt termobaryczny generują materiały wybuchowe o składzie zoptymalizowanym pod kątem otrzymywania efektu cieplnego oraz stosunkowo długotrwałego impulsu nadciśnienia fali uderzeniowej. Przedstawione składy chemiczne termobarycznych materiałów wymagają dalszego optymalizowania oraz dopracowania technologii ich otrzymywania oraz elaboracji do różnych typów amunicji. Głowice zawierające termobaryczne materiały wybuchowe oddziałują na cel energią fali uderzeniowej, podążającej za nią falą podciśnienia oraz falą ciepła. Dużo mniejszy efekt dają odłamki głowicy oraz toksyczne gazy powybuchowe.

Amunicja termobaryczna charakteryzuje się szeregiem zalet w porównaniu z amunicją paliwowo-powietrzną. Przede wszystkim jest bardziej efektywna w działaniach bojowych z uwagi na wytwarzane wyższe ciśnienie i temperaturę – podstawowe czynniki rażenia. Kolejną istotną przewagą jest zdecydowanie mniej skomplikowany mechanizm działania. W przypadku amunicji paliwowo-powietrznej krytycznym dla zadziałania pocisku jest etap wytworzenia aerozolu paliwa na atakowanym obszarze a następnie odpowiednio zsynchronizowane w czasie jego pobudzenie. W przypadku amunicji termobarycznej aerozolowanie palnych produktów wybuchu następuje samoistnie, co niezwykle upraszcza konstrukcję amunicji, która jest identyczna jak dla typowej amunicji burzącej. Czynnikiem

ważnym jest również cena jednostkowa mieszanin termobarycznych, wyraźnie niższa w porównaniu z klasycznymi kruszącymi MW.

Amunicja przestrzenna jest nowym rodzajem amunicji, który bardzo dynamicznie rozwijał się w ostatnich latach. Opracowano kilkanaście nowych konstrukcji amunicji, w których zastosowano efekt efekt termobaryczny w mniejszej skali. Ze względu na eskalację konfliktów asymetrycznych w dzisiejszej sytuacji międzynarodowej, rola amunicji termobarycznej będzie rosła. W konfliktach asymetrycznych walka toczyć się będzie w terenach zurbanizowanych, gdzie końcowy efekt walk (zniszczenia infrastruktury, straty ludności cywilnej) będzie zależał od rodzaju stosowanej amunicji. Wymienione wyżej uwagi potwierdzają perspektywiczność prac nad konstrukcjami amunicji z zastosowaniem tego efektu. Niewątpliwą wadą praktycznego stosowania tego zjawiska jest brak przewidywalności skutków rażenia amunicji, w której zastosowano efekt termobaryczny. Jednak ograniczony zasięg rażenia, duża skuteczność oddziaływania na siłę żywą przy relatywnie niewielkich zniszczeniach infrastruktury w otoczeniu miejsca wybuchu pozwala stwierdzić, iż użycie amunicji termobarycznej na polu walki będzie rosło.

## Literatura

- [1] I. Nowak, *Bomby paliwowo-powietrzne*, NTW 1-2(9-10)/1992
- [2] K. Mackiewicz, J. Łukasiewicz, *Amunicja paliwowo-powietrzna*, Raport WTO 08/1999
- [3] B. Zygmunt, A. Maranda, D. Buczkowski, *Materiały wybuchowe trzeciej generacji*, WAT 2007.
- [4] B. Zygmunt, K. Motyl, R. Rekucki, *Wzmacnianie impulsu ciśnienia generowanego detonacją materiałów wybuchowych*, PTU 4/2006 (100), s. 109-119
- [5] B. Zygmunt, J. Paszula, R. Rekucki, *Metody generowania impulsu ciśnienia w powietrzu do oceny odporności wybuchowej elementów konstrukcji*, Biul. WAT 3/2006 (54), s.
- [6] E. Włodarczyk, *Podstawy detonacji*, WAT, Warszawa 1995
- [7] A.E. Wildegger-Gaissmaier, *Aspects of thermobaric weaponry*, ADF Health 3/2003 (4), s. 3-6
- [8] M. Lee Chan, D. Tri Bui, G. Mayers, A. Turner, *Castable thermobaric explosive formulations*, US Patent 6969434
- [9] M. Lee Chan, D. Tri Bui, G. Mayers, *Advanced thermobaric explosive compositions*, US Patent 6955732
- [10] A. Maranda, *Wpływ reaktywności glinu na parametry detonacyjne mieszanin wybuchowych zawierających pył aluminiowy (MW-Al)*, Wiad. Chem. 3-4/2001 (55), s. 353-375
- [11] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/>
- [12] Materiały reklamowe firmy Martin Electronics Inc.
- [13] Materiały reklamowe firmy Lockheed Martin Corporation.
- [14] [http://www.janes.com/defence/land\\_forces/news/](http://www.janes.com/defence/land_forces/news/)
- [15] <http://www.militaryphotos.net/forums/>
- [16] <http://www.army-technology.com/projects/shturm/>