

# BADANIA POLIGONOWE DZIAŁANIA WYBUCHOWO GENEROWANEJ PLAZMY NA LOTNICZE BOMBY GŁĘBINOWE PŁAB-250-120

Miszczak M.<sup>1)</sup>, Warchoń R.<sup>1)</sup>, Gędziorowski M.<sup>1)</sup>, Piecuch M.<sup>1)</sup>, Grzeczka G.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, Zielonka, Warszawa

<sup>2)</sup> Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

## STRESZCZENIE

W celu uzyskania dostępu do pośredniego i zasadniczego ładunku wybuchowego bomb głębinowych PŁAB-250-120, tj. odpowiednio ładunku trotylu (TNT) oraz kompozycji TGAF-5M składającej się z trotylu (TNT), heksogenu (RDX), proszku glinowego i flegmatyzatora, do perforacji ich stalowych korpusów zastosowano urządzenia wybuchowo generujące plazmę (ang. Explosively Generated Plasma – EGP). Urządzenia EGP wykonano w dwóch wersjach. W pierwszej zastosowano cylindryczny ładunek TNT, zaś w drugiej cylindryczny ładunek uformowany z plastycznego materiału wybuchowego SEMTEX PW4. Ładunki wybuchowe podparto falowodami o wnękach stożkowych zwiężających się w kierunku bomby. Elementy konstrukcyjne urządzeń EGP, tj. korpusy ładunków wybuchowych oraz falowody wykonano z tworzywa sztucznego metodą druku 3D. Badano skutki działania EGP na bombę w zależności od zastosowanego materiału wybuchowego, jego masy oraz odległości falowodu urządzenia EGP od bocznej powierzchni bomby. Jednoczesne odpalenie układu dwóch urządzeń EGP zaelaborowanych materiałem wybuchowym SEMTEX PW4, przyłożonych falowodami do bomby spowodowało jej detonację, zaś jednoczesne odpalenie analogicznego układu takich samych urządzeń EGP, których falowody znajdowały się w odległości 10 mm od bomby skutkowało wybiciem dwóch kołowych otworów przelotowych w jej korpusie. Odpalenie pojedynczo urządzeń EGP zaelaborowanych TNT, przyłożonych falowodami do korpusu bomby powodowało lokalne rozerwanie korpusu i wykruszenie ładunków wybuchowych, umożliwiając łatwy dostęp do materiałów wybuchowych i pobranie ich próbek.

**Słowa kluczowe:** lotnicza bomba głębinowa, PŁAB-250-120, plazma generowana wybuchowo, EGP, urządzenia EGP, perforacja, TNT, TGAF-5.

---

## ARTICLE INFO

PolHypRes 2023 Vol. 84 Issue 3 pp. 27 – 40

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2023-0014

Strony: 14, rysunki: 12, tabele: 1

page **www of the periodical:** [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

### Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

**Typ artykułu: oryginalny**

**Termin nadestania: 09.03.2023 r.**

**Termin zatwierdzenia do druku: 10.04.2023 r.**



## WSTĘP

W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia (WITU) realizowane są prace w zakresie badań materiałów wybuchowych znajdujących się w amunicji wojskowej, dla której upłynął gwarancyjny okres przydatności nadany przez producenta. Koniecznym etapem tych prac jest demontaż takiej amunicji w celu uzyskania dostępu do ładunków wybuchowych, a następnie pobranie ich próbek do badań laboratoryjnych. Niestety, w przypadku lotniczych bomb głębinowych PŁAB-250-120 wyprodukowanych w byłym Związku Radzieckim, dostęp do ich pośrednich i zasadniczych ładunków wybuchowych jest utrudniony, ponieważ ładunki te są na stałe, hermetycznie zamknięte w stalowym korpusie bomby. Wobec tych trudności, opracowano i wykonano w WITU urządzenia do wybuchowego generowania plazmy (ang. *Explosively Generated Plasma* – EGP) służące do perforacji korpusów tych bomb, tak aby w wyniku jej działania nie nastąpiła detonacja ani spalanie pośrednich i zasadniczych ładunków wybuchowych bomb. Poniżej opisano budowę i działanie bomb lotniczych PŁAB-250-120, urządzenia EGP znane ze stanu techniki oraz opracowane w WITU i zastosowane do perforowania tych bomb a także badania poligonowe działania nowo opracowanych urządzeń EGP na bomby PŁAB-250-120.

## LOTNICZE BOMBY GŁĘBINOWE PŁAB-250-120

Lotnicze bomby głębinowe PŁAB-250-120 (Rys.1) są bombami średniego wagomiaru o masie całkowitej 120 kg, długości 1500 mm i średnicy 240 mm. Przeznaczone są do niszczenia łodzi podwodnych zanurzonych albo znajdujących się w położeniu wynurzonem [1].

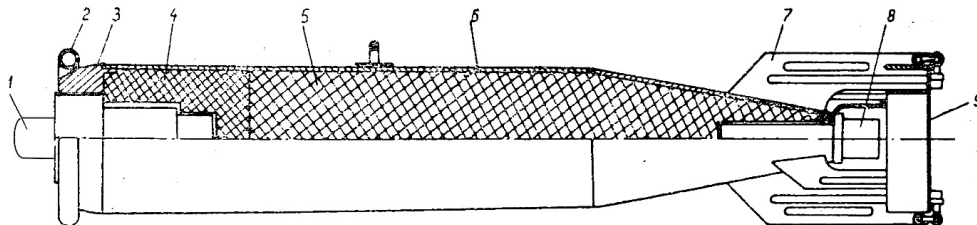


Fig. 1 Half-view-half-section of the PLAB-250-120 aerial depth bomb: 1 - front (proximity) detonator, 2 - front braking ring, 3 - warhead, 4 - booster explosive charge (TNT), 5 - main explosive charge (TGAF-5M or MS), 6 - thin-walled body, 7 - stabilizer, 8 - bottom (hydrostatic) detonator, 9 - rear braking ring [1].

Pośredni ładunek wybuchowy bomby wykonany jest z trotylu (TNT), zaś zasadniczy ładunek wybuchowy usytuowany w środkowej i tylnej części korpusu bomby stanowi kompozycja wybuchowa trotylu (TNT), heksogenu (RDX), proszku glinowego i flegmatyzatora, oznaczona w zależności składu ilościowego jako TGAF-5M albo MS. Składy ilościowe i własności fizykochemiczne ww. kompozycji wybuchowych stosowanych powszechnie w wielkogabarytowej amunicji morskiej, w tym podwodnej, przedstawiono w artykule przeglądowym [2] oraz książce [3].

W celu uniknięcia rykoszetów przy uderzeniu w powierzchnię wody, czołowa część bomby jest płaska i ma postać masywnej, stalowej głowicy, do której specjalnymi wkrętami przymocowany jest przedni pierścień spełniający rolę hamulca. Tę samą funkcję pełni tylny pierścień hamujący przymocowany do statecznika bomby. Pierścienie hamujące zmniejszają prędkość opadania bomby do określonej wielkości uwarunkowanej jej wytrzymałością. Opis budowy bomby, ze szczególnym uwzględnieniem przedniego i tylnego układu hamującego przedstawiono w opisie patentowym rosyjskiego wynalazku RU 2277219C1 [4]. W chwili zderzenia z powierzchnią wody, wskutek naporu dynamicznego wody, pierścienie hamujące odpadają od bomby, dzięki czemu bomba stosunkowo szybko się zanurza. Prędkość zanurzania bomby nie przekracza 10 m/s. Zapalnik czołowy (zbliżeniowy) działa w określonej odległości bomby od łodzi podwodnej, zaś zapalnik denny (hydrostatyczny) działa na określonej głębokości zanurzenia bomby.

## URZĄDZENIA EGP ZNANE ZE STANU TECHNIKI ORAZ OPRACOWANEJ W WITU

Jedne z pierwszych urządzeń EGP oraz ich działanie przedstawiono w opisach patentowych: brytyjskim GB 855932 [5] oraz amerykańskim US 3159102 [6]. Przykładowe schematy urządzeń EGP według niniejszych wynalazków pokazano na Rys. 2.

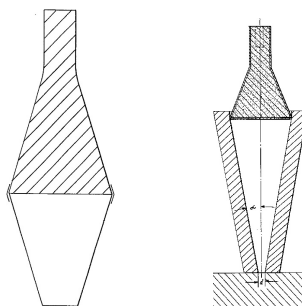
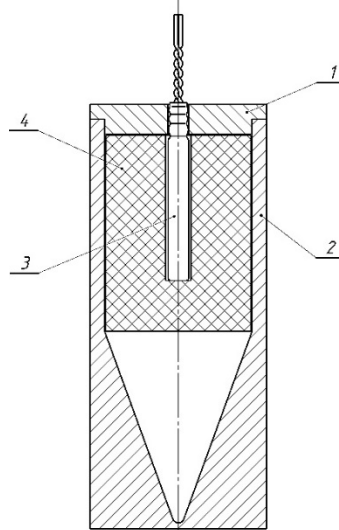


Fig. 2 Przykładowe układy EGP według wynalazków podanych w opisach patentowych: po lewej – GB 855932 [5], po prawej – US 3159102 [6].

Układy te składają się z jednolitego ładunku kruszącego materiału wybuchowego o zewnętrznej kształcie lejka, wykonanego np. z kompozycji wybuchowej RDX/TNT, umieszczonego w cienkościennym obudowie. Taki ładunek ustawiony był swoją stożkową podstawą na falowodzie ze stożkową wnątką zbiegającą się w kierunku stalowej płyty. Falowód wykonano z metalu lub tworzywa sztucznego.

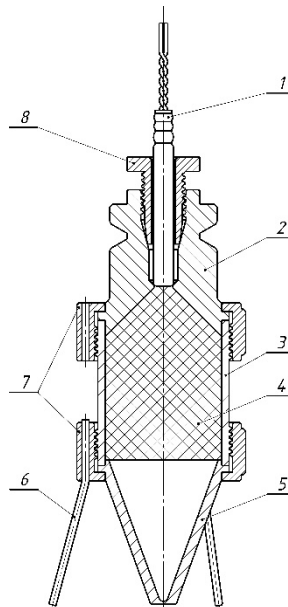
Zastosowanie urządzeń EGP do neutralizacji amunicji przeznaczonych do zniszczenia przedstawiono stosunkowo niedawno np. w opisach patentowych wynalazków [7,8] oraz w artykule [9] i raporcie końcowym [10] z badań prowadzonych dla Marynarki Wojennej USA.

W WITU opracowano szereg urządzeń EGP służących do wykonywania prac saperskich i badawczych. Do przedmiotowych badań wykorzystano urządzenia EGP typu I (Rys. 3) oraz typu II (Rys. 4), których elementy konstrukcyjne wykonano z tworzywa sztucznego (polilaktydu – PLA) metodą FDM druku 3D.



Rys. 3 Urządzenie EGP typu I użyte do perforacji korpusów lotniczych bomb głębinowych PŁAB-250-120: 1 – pokrywka z centralnym otworem na zapalnik, 2 – korpus ze stożkową wnątką falowodu, 3 – zapalnik elektryczny Erg, 4 – cylindryczny ładunek TNT.

Urządzenie EGP typu I (Rys. 3) składa się z cylindrycznego, prasowanego ładunku TNT o masie 200 g umieszczonego w korpusie ze stożkową wnątką usytuowaną pod ładunkiem TNT, tworzącą falowód o kącie wierzchołkowym 40°. Ładunek TNT oparty jest dolną krawędzią o stożkową powierzchnię falowodu, zaś od góry przykryty pokrywką z centralnym otworem na zapalnik elektryczny Erg.



Rys. 4 Urządzenie EGP typu II użyte do perforacji korpusów bomb głębinowych PŁAB-250-120: 1 – zapalnik elektryczny Erg, 2 – pokrywka, 3 – korpus, 4 – ładunek plastycznego materiału wybuchowego SEMTEX PW4, 5 – stożkowy falowód, 6 – nóżka, 7 – nakrętki, 8 – wkrętka.

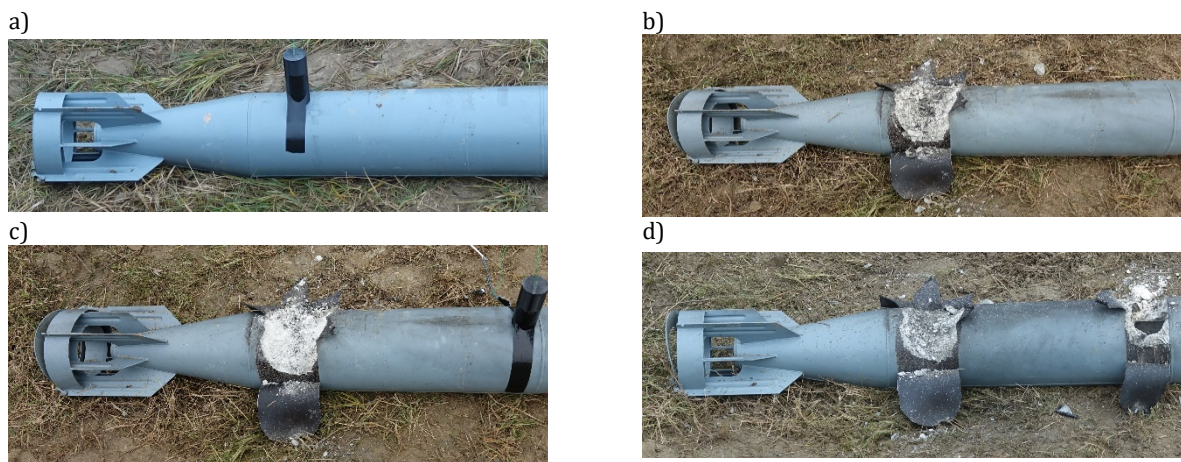
Urządzenie EGP typu II zbudowano, wykorzystując elementy Saperskiego Ładunku Kierunkowego CHELICER, opracowanego w WITU. Korpus mieści ładunek plastycznego materiału wybuchowego SEMTEX PW4 (zawierającego 88% RDX) o masie ok. 97 g i zamknięty jest od góry pokrywką z gniazdem na zapalnik elektryczny Erg, zaś od dołu stożkowym falowodem o kącie wierzchołkowym 40°. Powyższe elementy połączone są dwiema nakrętkami. Urządzenie EGP typu II posiada nóżki z drutu, umożliwiające ustawienie określonego dystansu pomiędzy falowodem urządzenia EGP typu II a niszczonego celem (tu: bombą).

## BADANIA POLIGONOWE DZIAŁANIA EGP NA KORPUSY LOTNICZYCH BOMB GŁĘBIONWYCH -250-120

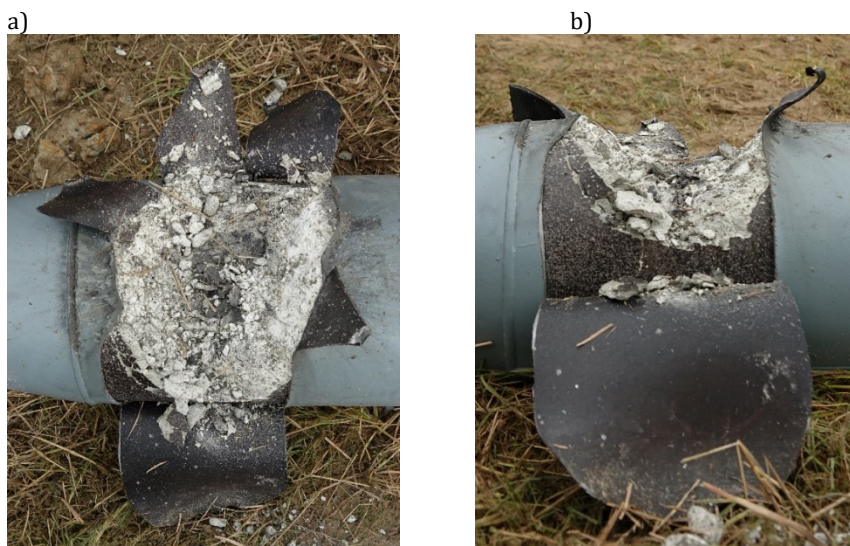
Badaniom poddano cztery lotnicze bomby głębinowe PŁAB-250-120, dla których upłynął okres gwarancyjny ich przydatności, przeznaczone do neutralizacji (badań niszczących). Badania miały na celu ustalenie konfiguracji: urządzenie EGP/dwa urządzenia EGP – lotnicza bomba głębinowa, umożliwiającej uzyskanie dostępu do ładunków wybuchowych bomb – pośredniego (TNT) oraz zasadniczego (TGAF-5M). W tym celu bomby PŁAB-250-120 przetransportowano z magazynu na poligon WITU, a następnie usunięto z nich detonatory (zlokalizowane w części ogonowej) oraz makiety głowicowe. Następnie na podstawie dokumentacji bomby PŁAB-250-120, wytypowane zostały dwa miejsca jej korpusu, w których bomba miała być perforowana, jedno w odległości ok. 150mm od czoła bomby (na wysokości ładunku TNT), zaś drugie – ok. 750 mm od czoła bomby (na wysokości ładunku TGAF-5M).

Badania podzielono na dwa etapy. W pierwszym zastosowano urządzenia EGP typu I, zaś w drugim urządzenia EGP typu II. Urządzenia EGP ustawiane były tak, by osie ich ładunków wybuchowych były współliniowe ze średnicą korpusu bomby. Urządzenia EGP odpalano pojedynczo lub parami, z zachowaniem dystansu 10 mm od bocznej powierzchni bomby albo przykładając je bezpośrednio do powierzchni bomby.

W przypadku bomb nr 1 i nr 2, urządzenia EGP typu I ustawiano z przyłożenia i odpalano pojedynczo (cztery strzały). Najpierw odpalano urządzenie EGP nad ładunkiem TGAF-5M, a potem nad ładunkiem TNT. W wyniku każdego takiego odpalenia nastąpiło lokalne rozerwanie korpusu bomby, z pokruszeniem i częściowym rozrzucaeniem materiału wybuchowego bomby. Konfiguracje: urządzenia EGP typu I – bomba oraz przykładowe efekty oddziaływania tych urządzeń na bomby nr 1 i 2 przedstawiono na Fot. 5-7



Fot. 5 Badanie konfiguracji: urządzenie EGP typu I – bomba nr 1: a – ustawienie urządzenia EGP nad tylną część bomby (strzał 1), b – efekt oddziaływania EGP na tylną część bomby, c – ustawienie urządzenia EGP nad przednią część bomby (strzał 2), d – efekt oddziaływania EGP na przednią część bomby (oraz efekt wcześniejszego oddziaływania EGP na tylną część bomby).



Fot. 6 Widok szczegółowy perforacji i miejscowego rozerwania korpusu tylnej części bomby nr 1 oraz penetracji i rozkruszenia ładunku TGAF-5M przez urządzenie EGP typu I (strzał 1): a – widok z góry, b – widok z boku.



Fot. 7 Widok szczegółowy perforacji i miejscowego rozerwania przedniej części korpusu bomby nr 2 oraz penetracji i rozkruszenia ładunku TNT przez urządzenie EGP typu I (strzał 4): a – widok z góry, b – na pierwszym planie widok krawędzi blachy korpusu bomby z łukowatym fragmentem, świadczącym tym, że najpierw miała miejsce perforacja korpusu w postaci otworu kołowego, a następnie jego rozerwanie.

W przypadku bomby nr 3, dwa urządzenia EGP typu II ustawiono z przyłożenia (Fot. 8a i 8b) i odpalono jednocześnie. W wyniku działania EGP nastąpiła detonacja materiału wybuchowego znajdującego się w bombie (Fot. 8c).

a)



b)



c)



Fot. 8 Badanie konfiguracji: dwa urządzenia EGP typu II (przygotowane do jednoczesnego odpalenia) – bomba nr 3 (strzał 5): a – ustawienie urządzeń EGP względem bomby, b – widok ogólny stanowiska badawczego, d – efekt detonacji bomby

W przypadku bomby nr 4, dwa urządzenia EGP typu II ustawiono w odległości 10 mm od powierzchni korpusu bomby (Fot. 9 (a,b)) i zdetonowano jednocześnie. Zastosowanie dystansu 10 mm zamiast przyłożenia podyktowane było koniecznością osłabienia oddziaływania EGP na korpus bomby, w celu zapobieżenia detonacji jej ładunków wybuchowych (TNT i TGAF-5M).

a)



b)



c)



Fot. 9 Badanie konfiguracji: dwa urządzenia EGP typu II – bomba nr 4 (strzał 6): a – widok szczegółowy ustawienia urządzenia EGP typu II naprzeciw ładunku TNT bomby, w odległości 10 mm od jej powierzchni, b- ustawienie obu urządzeń EGP typu II względem bomby, c – efekt oddziaływania dwóch EGP na bombę.

Zamierzony efekt został osiągnięty, uzyskano dwie perforacje korpusu bomby w postaci dwóch otworów kołowych na wysokości ładunku TNT i TGAF-5M bomby nr 4, odpowiednio o średnicy ok. 30 i 35mm (Fot. 10).



b)



Fot. 10 Widok szczegółowy perforacji tylnej części korpusu bomby nr 4 przez urządzenie EGP z urządzenia EGP typu II (strzał nr 6): a – widok z góry, b – widok z boku.

Na Fot. 10 wyraźnie widoczny jest inny charakter oddziaływania EGP na bombę niż w poprzednich przypadkach – brzegi otworów kołowych są wywinięte do środka, zaś dookoła otworu widoczne jest wybrzuszenie korpusu (Fot. 10b). Materiał wybuchowy znajdujący się we wnętrzu bomby jest pokruszony tylko w nieznacznym stopniu.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Poniżej, w Tabeli zestawiono zastosowane w badaniach poligonowych konfiguracje: urządzenie/urządzenia EGP – lotnicza bomba głębinowa oraz jej odpowiedź (reakcję) na działanie EGP generowanych przez te urządzenia.

Tab. 1

Zestawienie wyników badań działania urządzeń EGP typu I i II na lotnicze bomby głębinowe PŁAB-250-120.

Nr strzału	Nr bomby	Typ urządzenia EGP i jego położenie względem bocznej powierzchni bomby na wysokości jej ładunków wybuchowych		Wynik działania EGP na bombę
		pośredniego (TNT)	zasadniczego (TGAF-5M)	
1	1	-	Typ I, przyłożenie	Lokalne rozerwanie korpusu bomby
2		Typ I, przyłożenie	-	Lokalne rozerwanie korpusu bomby
3	2	-	Typ I, przyłożenie	Lokalne rozerwanie korpusu bomby
4		Typ I, przyłożenie	-	Lokalne rozerwanie korpusu bomby
5	3	Typ II, przyłożenie	Typ II, przyłożenie	Detonacja bomby
6	4	Typ II, dystans 10 mm	Typ II, dystans 10 mm	Perforacja korpusu bomby w postaci dwóch otworów kołowych

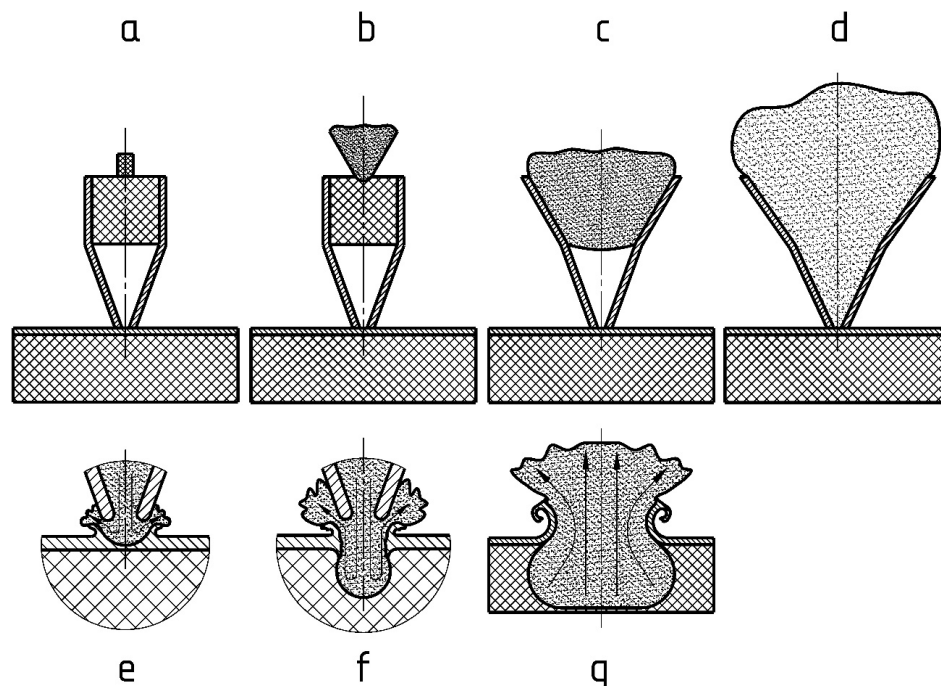
Z powyższej tabeli wynika, że badane konfiguracje urządzenie/urządzenia EGP – lotnicza bomba głębinowa PŁAB-250-120, stosowane podczas pierwszego, drugiego, trzeciego, czwartego i szóstego strzału (czyli oprócz konfiguracji zastosowanej podczas strzału piątego, w wyniku którego nastąpiła detonacja bomby) potwierdziły przydatność zastosowania EGP do perforacji bomby i pobierania próbek materiałów wybuchowych: TNT i TGAF-5M z wnętrza cienkościennych korpusów tych bomb.

Najlepszy dostęp do ładunków wybuchowych TNT i TGAF-5M bomby PŁAB-250-120 uzyskano dla konfiguracji: urządzenie EGP typu I przyłożone wierzchołkiem falowodu do powierzchni korpusu bomby, tj. konfiguracji zastosowanej podczas pierwszego, drugiego, trzeciego i czwartego strzału.

Odpowiedź (reakcja) ładunku materiału wybuchowego bomby na działanie EGP zależy m.in. od masy i rodzaju materiału wybuchowego zastosowanego w urządzeniu EGP oraz od odległości (dystansu) jego falowodu od powierzchni bomby. Na przykład, o wpływie dystansu na odpowiedź (reakcję) bomby na EGP dobitnie świadczy porównanie odpowiedzi (reakcji) bomby na EGP w wyniku jednoczesnego odpalenia dwóch urządzeń EGP typu II przyłożonych do bomby (strzał nr 5) albo oddalonych od niej na dystansie 10 mm (strzał nr 6). Wprowadzenie dystansu 10 mm między urządzeniami EGP a powierzchnią bomby skutkowało lokalną perforacją korpusu bomby w postaci otworów kołowych i miejscowym rozkruszeniem jej ładunków wybuchowych, natomiast przyłożenie takich samych urządzeń do korpusu bomby skutkowało jej detonacją.

Na podstawie dostępnych publikacji [10-13] oraz uzyskanych wyników badań, można zaproponować dwa prawdopodobne scenariusze oddziaływania EGP na materiał wybuchowy znajdujący się wewnątrz cienkościennego korpusu bomby w przypadku oddziaływania urządzenia EGP z przyłożenia (Rys. 11) oraz w przypadku urządzenia EGP ustawionego z zachowaniem dystansu pomiędzy końcem falowodu a korpusem bomby (Rys. 12).

#### Pierwszy scenariusz (Rys.5)

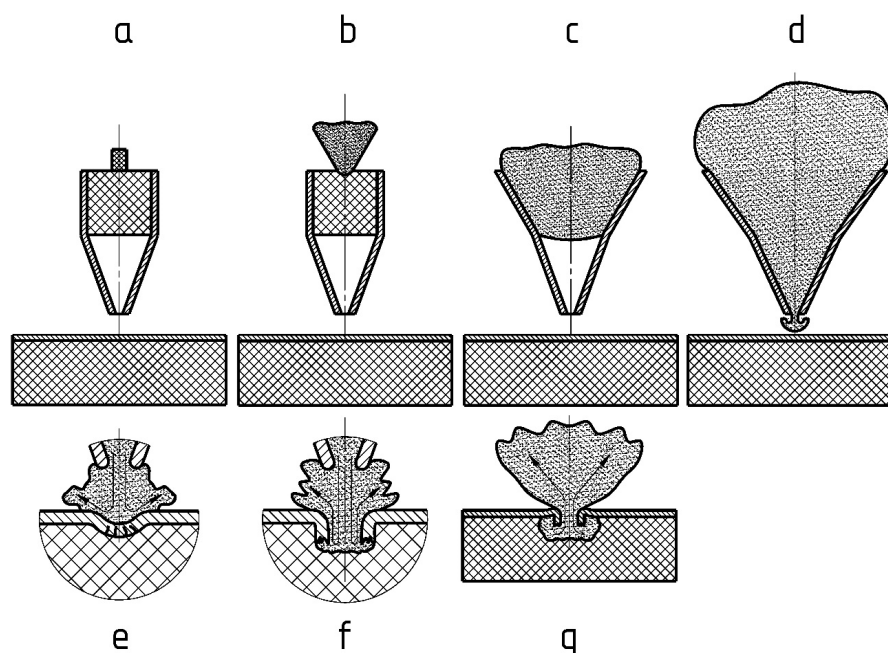


Rys. 11 Proponowany scenariusz oddziaływania EGP na materiał wybuchowy znajdujący się wewnątrz cienkościennego korpusu bomby – urządzenie EGP z przyłożenia.

Ładunek EGP ustawiony zostaje na korpusie bomby, wylot falowodu przylega do jej powierzchni (Rys. 11a). Następuje zainicjowanie zapalnika (Rys. 11b). W ładunku EGP zapoczątkowana zostaje przemiana wybuchowa, która propaguje się w stronę falowodu, aż dojdzie do dolnej (swobodnej) powierzchni materiału wybuchowego (Rys. 11c). W powietrzu znajdującym się w falowodzie, wygenerowana zostaje fala uderzeniowa, za którą poruszają się zjonizowane produkty detonacji – plazma. W trakcie ich propagacji wężącym się falowodzie powstaje fala Macha (Rys. 11d). Fala Macha, a następnie produkty detonacji, uderzają w korpus bomby. Ze względu na małą długość falowodu, opóźnienie to jest niewielkie. Następuje „wymywanie” materiału korpusu, w trakcie którego powstają charakterystycznie wywinięte na zewnątrz krawędzie otworu (Rys. 11e). Po przebicciu korpusu, plazma wnika do wnętrza bomby. Następuje rozkład materiału wybuchowego w obszarze bezpośredniego oddziaływania plazmy oraz nagrzewanie przyległego materiału (Rys. 11f). Możliwe jest zainicjowanie deflagracji materiału wybuchowego zgodnie z mechanizmem cieplnym. Gwałtowne wydzielanie dużej ilości gazowych produktów, powoduje wzrost ciśnienia, a co za tym idzie miejscowe rozerwanie korpusu bomby. Następujące w tym momencie rozprężenie produktów i gwałtowny spadek ich ciśnienia zatrzymuje deflagrację (Rys. 11g).

#### Drugi scenariusz





Rys. 12 Proponowany scenariusz oddziaływania EGP na materiał wybuchowy znajdujący się wewnątrz cienkościennego korpusu bomby – urządzenie EGP z dystansu.

W drugim z analizowanych wariantów, ładunek EGP ustawiony jest na korpusie bomby, zaś wylot falowodu znajduje się w odległości 10 mm od jej powierzchni (Rys. 12a). Początkowe etapy są analogiczne jak dla wcześniej opisanego przypadku (Rys. 12a-c). Powstała fala Macha wraz z plazmą opuszczają falowód i propagują się dalej w kierunku bomby (Rys. 12d). Uderzając w korpus, mają niższe parametry niż we wcześniej opisanym przypadku. Prędkość odkształceń jest mniejsza, a co za tym idzie mechanizm niszczenia korpusu jest odmienny. Następuje odkształcanie blachy, zaś od strony materiału wybuchowego następuje jej pęknięcie (Rys. 12e). Po przebiciu korpusu, plazma wnika do wnętrza bomby. Następuje rozkład materiału wybuchowego w obszarze bezpośredniego oddziaływania plazmy oraz nagrzewanie przyległego materiału (Rys. 12f). Powstające gazowe produkty powodują wzrost ciśnienia wewnątrz bomby, a co za tym idzie odkształcenie jej korpusu (Rys. 12g).

Podsumowując, zbadane układy donor – akceptor, tj. urządzenie EGP albo dwa urządzenia EGP – bomba lotnicza PŁAB-250-120, potwierdziły przydatność zastosowania EGP do perforacji i pobierania próbek materiałów wybuchowych z wnętrza cienkościennych korpusów bomb. Intensywność odpowiedzi (reakcji) materiału wybuchowego znajdującego się wewnątrz bomby zależy m.in. od rodzaju użytego materiału wybuchowego zastosowanego w urządzeniu EGP oraz od odległości końca jego falowodu od powierzchni korpusu.

## LITERATURA

1. Makowski R., Air Armament. Handbook, Part I. Aerial Weapons, Lot. 2592/87, Poznań 1989
2. Miszczak M., Technology and properties of explosive TGAF compositions on the basis of Russian inventions, Issues of Armament Technology, 2022, 161, 3/2022, pp.79-90, ISSN 1230-3801, DOI:10.5604/01.3001.0016.1163
3. Orlenko L.I. (Ed.), Fizika vzryva, [in Russian] FIZMATLIT- Moskva, 2002, Vol.1, p.768; ISBN 5-9221-0219-2
4. Korenkov V.V., Tereshin A.A., Suprunov N.A., Shelekov V.S., Volzhin K.V., Antisubmarine aerial bomb, Patent RU 2277219C1 (date of patent priority 18.11.2004, date of patent publication 27.05.2006)
5. Riedl H.J., Schluter H., Method of directing and increasing the effects of explosive charges, Patent GB 855932 (date of patent priority 27.07.1956, date of patent publication 14.12.1960)
6. Riedl H.J., Schluter H., Explosive demolition arrangement, US Patent 3159102 (date of patent priority 21.01.1961, date of patent publication 1.12.1964)
7. Pangilinan G.I., Russell T.P., Whitley V.H., Explosive neutralization method and device, US Patent 7331268 (date of patent priority 2.06.2004, date of patent publication 19.02.2008)
8. Boswell Ch., Pangilinan G.I., Yield enhancing device and method of use, Statutory Invention Registration US H2259H (date of invention priority 26.11.2008, date of invention publication 5.07.2011)
9. Tasker D.G., Whitley V.H., Johnson C.E., The interaction of explosively generated plasma with explosives, AIP Conference Proceedings 1793, 060023, 2017
10. Douglas T., Emery S., McCarthy D., EGP Final Report MR-201611 - Underwater UXO neutralization by Explosively Generated Plasma, Munition Response Project, Naval Surface Warfare Center Indian Head Division, USA, 2020.
11. Bauer. A, Cook M.A., Keyes R.T., Detonation-generated plasmas, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 259, No. 1299, 1961
12. Poirier, N., Amondson, D., Asay, B.W. et al. Spatial and spectral structure of explosively generated plasmas in tubes, Shock Waves 31, 877-886, 2021
13. Jonas G.H., Zukas J.A., Technical Report ARBRL-TR02137: Mechanics of penetration: analysis and experiment, Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, USA, 1979.

**Maciej Miszczak**

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia  
ul. Prymasa Stefana Wyszyńskiego 7  
05-220 Zielonka