

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

Analiza efektów wybuchu podwodnego w akwenach płytkich

Piotr Nowak¹, Dain Farrimond², Ross Waddoups², Tomasz Gajewski¹, Artur Szlachta¹, Piotr Sielicki¹, Lewis Tetlow², Tommy Lodge², Genevieve Langdon², Andy Tyas²

¹Institut Analizy Konstrukcji, Politechnika Poznańska, e-mail: piotr.nowak@doctorate.put.poznan.pl,

²Blast & Impact Engineering, University of Sheffield, email: d.farrimond@sheffield.ac.uk.

STRESZCZENIE: Niniejsza praca stanowi kontynuację badań nad bezpieczeństwem prowadzenia prac podwodnych z użyciem materiałów wybuchowych w warunkach płytkiej wody. Podwodna detonacja ładunków niebezpiecznych wciąż stanowi podstawową metodę niszczenia uzbrojenia i amunicji pochodzącej z okresu I i II wojny światowej w rejonie Morza Bałtyckiego i Morza Północnego. Działania wojskowe w obrębie Morza Czarnego związane z Rosyjskim atakiem na terytorium Ukrainy powodują, że zagrożenia wynikające z zatopionej techniki wojskowej (min morskich, bomb lotniczych, uzbrojonych okrętów i samolotów) stanowią zagrożenie dla ludności i transportu morskiego. Celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych jest zwrócenie uwagi na efekt płytkiego akwenu i jego wpływ na propagację fali ciśnienia podczas wybuchu podwodnego oraz wpływ głębokości na fragmentację skorupy zatopionej amunicji. W rezultacie przeprowadzonych nowatorskich badań poligonowych uzyskano charakterystyki ciśnienia wokół ładunku umieszczonego na różnych głębokościach w toni wodnej. Równoległe przeprowadzono testy dla ładunków fragmentujących w zależności od ich głębokości. Zarejestrowano trajektorie lotu, rozkład oraz ilość odłamków na znormalizowanych płytach kontrolnych.

SŁOWA KLUCZOWE: materiał wybuchowy, niewybuch, ładunek podwodny, fala ciśnienia, fragmentacja.

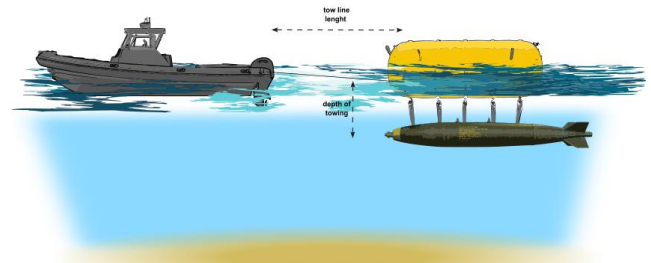
1. Wstęp

Liczba badań naukowych związanych z detonacją amunicji w powietrzu znacznie przewyższa te realizowane pod powierzchnią wody. W działaniach ofensywnych uwzględnia się oddziaływanie na cele fali podwielżonej wywołanej detonacją określonej masy materiału wybuchowego [1,2] oraz rozprzeczonych odłamków pochodzących od stalowej skorupy [3,4]. Manipulacja masą i typem substancji chemicznej oraz modyfikacja mechaniczna skorupy bomb i pocisków pozwala na osiągnięcie przez producentów uzbrojenia wymaganej skuteczności rażenia celu [5]. Siły zbrojne podczas realizacji zgłoszeń związanych z odnalezieniem niewybuchów wykorzystują powyższą wiedzę w celu określenia stref zamkniętych i zapewnienia niezbędnego poziomu bezpieczeństwa wokół odnalezionego obiektu.

Aktualne badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych [6] wykazały, że warunków bezpieczeństwa dla wybuchu podwodnego nie można definiować wyłącznie na podstawie masy ładunku. Kalkulacje stref niebezpiecznych odwołują się do teorii propagacji fali ciśnienia w nieskończonym ośrodku wodnym [7], nie uwzględniają więc efektu płytkiej wody. Jednakże przyjęte w Marynarce Wojennej procedury niszczenia niewybuchów zapewniają (dla fali ciśnienia) wymagany poziom bezpieczeństwa dla personelu wojskowego i ludności.

Niepokojącą kwestią są natomiast ograniczone badania oraz brak rozwiązań technicznych umożliwiających ocenę zagrożenia ze strony fragmentacji amunicji znajdującej się na głębokościach do kilku metrów. Nie uwzględnia się odłamkowania skorupy niewybuchu w analizie zagrożenia, a obiekty znajdujące się pod powierzchnią wody uznawane są

za bezpieczne. Powszechną procedurą w Europie jest transport min morskich zalegających blisko brzegu lub w portach na głębsze wody celem ich zniszczenia (rys. 1).



Rys. 1. Holowanie niewybuchu w toni wodnej.

Działania te polegają na wydobywaniu niewybuchu z dna za pomocą pontonów wypornościowych i holowania go w toni wodnej do wyznaczonego rejonu. Niekontrolowana detonacja może zagrażać osobom znajdującym się na holującej jednostce, ze względu na brak dostępnej wiedzy na temat zachowania i rozkładu fragmentów nad powierzchnią.

2. Cele pracy i zakres badań

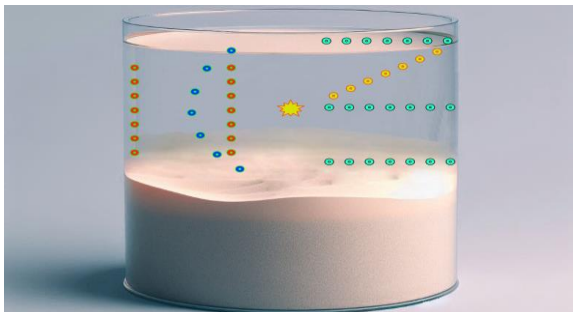
Głównym celem badań była realizacja powtarzalnych badań eksperymentalnych w małej skali do oceny czynników niebezpiecznych dla płytkiego wybuchu podwodnego. Celem drugorzędym było zwiększenie ilości podwodnych testów z użyciem materiałów wybuchowych oraz efektywności prowadzonych prac w warunkach zbliżonych do rzeczywistych poprzez maksymalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Przeprowadzono dwa rodzaje testów:

- 1) badania eksperymentalne typu Underwater Explosions (UNDEX) z zastosowaniem opatentowanej ramy pomiarowej mającej na celu ocenę wpływu odległości i głębokości podwodnej eksplozji w płytkiej wodzie na propagację ciśnienia;
- 2) nowatorskie badania fragmentacyjne (FRAG) mające na celu zbadanie wpływu głębokości detonacji ładunku podwodnego na liczbę i zachowanie się fragmentów obudowy nad powierzchnią wody.

3. Planowanie i warunki eksperymentu

Propagację podwodnej fali uderzeniowej i dynamiczne zachowanie rozprężających się gazów często bada się w „nieskończonym” ośrodku wodnym, z pomijalnymi warunkami brzegowymi, czy bez interakcji z przeszkodami. Jednakże interakcje na granicy woda-powierzchnia i woda-struktura mają wpływ na rozkład ciśnienia, a przewidywanie ich wielkości w określonym punkcie może wpłynąć na poprawę procedur bezpieczeństwa i rozwiązać problem niewłaściwego zarządzania ryzykiem podczas niszczenia min morskich.

Niniejsze badania UNDEX przeprowadzono w zbiorniku o pojemności 6 m³ i średnicy 2000 mm wypełnionego do połowy żwirem płukanym oraz uzupełniono 1050 mm słodkiej wody. Materiał wybuchowy PE10 o masie 5 g dla wszystkich testów znajdował się na głębokości 500 mm (rys. 2). Badania podzielono na 4 serie ze względu na sposób mocowania zestawu siedmiu czujników piezoelektrycznych wokół ładunku. W celu zwiększenia efektywności pomiarów zaprojektowano ramę pomiarową, na której podwieszono w określonych punktach zarówno czujniki jak i przygotowany ładunek.

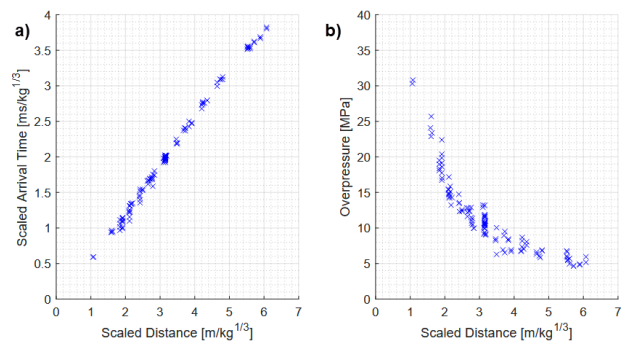


Rys. 2. Zbiornik o pojemności 6m³

Badania FRAG przeprowadzono na dedykowanym stanowisku badawczym. Materiał wybuchowy PE10 o masie 47 g umieszczono w zbiorniku stalowym, który przed detonacją wypełniano wodą do określonego poziomu. Skorupę ładunku stanowiły kulki stalowe o średnicy 1,7 mm zamknięte w obudowie z wydruku 3D, dzięki czemu otrzymano stałą ilość odłamków (1870±5). Masę odłamków dobrano tak, aby odzwierciedlała stosunek masy do ładunku typowego uzbrojenia morskiego. Nad ładunkiem w odległości 605 mm umieszczono płyty kontrolne (1500x750 mm) przechwytyjące odłamki.

4. Wyniki badań eksperymentalnych

W ramach testów typu UNDEX przeprowadzono 17 podwodnych detonacji i zarejestrowano przebiegi ciśnień w 119 punktach znajdujących się na różnych głębokościach i odległościach od ładunku. Zarejestrowano wysoką powtarzalność pomiarów ciśnienia podwodnego (rys. 3).



Rys. 3. Wykres wartości zredukowanego czasu dojścia fali w funkcji skalowanej odległości a) oraz maksymalnego ciśnienia fali w funkcji skalowanej odległości b).

W 11 próbach typu FRAG wykorzystano kulki stalowe do oceny zależności głębokości od ilości trafień w płytę kontrolną. Otrzymano liczbę trafień (tab. 1) oraz trajektorie lotu poszczególnych odłamków.

Tabela 1. Zestawienie strzałów oraz wyników

Nr testu	Głębokość [mm]	Liczba odłamków	% masy stalowej
1-2	powietrzny	281-290	15,3
3-5	0	302-311	16,4
6-7	17	298-346	17,2
8-9	62	311-327	17,1
10-11	112	0-4	0,1

5. Podsumowanie

W pracy zbadano wpływ płytkiego akwenu na poziom bezpieczeństwa podczas detonacji ładunku blisko powierzchni wody. Wzięto pod uwagę dwa główne efekty detonacji: falę ciśnienia oraz odłamkowanie stalowej skorupy. W rezultacie przeprowadzonych badań poligonowych uzyskano charakterystykę ciśnienia wokół ładunku oraz zaobserwowano zauważalny wpływ głębokości na zmianę wartości ciśnienia i impulsu. Testy dla ładunków fragmentujących wykazały drastyczny spadek ilości odłamków na głębokości równej trzykrotności średnicy. Zarejestrowane dane dla ładunków o masie kilkudziesięciu gram wykazują wysokie właściwości tłumiące wody.

Uzyskanie wyniki mogą posłużyć jako wartości referencyjne w dalszych badaniach i symulacjach numerycznych lub zostać wykorzystane do opracowania bezpiecznych procedur usuwania przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych (PWiN) w środowisku wodnym na małych głębokościach lub blisko brzegu.

Praca została wsparta przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej na umiędzynarodowienie Szkoły Doktorskiej Politechniki Poznańskiej w ramach programu STER.

Literatura

- [1] Sielicki P.W., Clutter J.K., Sumelka, W., Gajewski T., Malendowski M., Peksa P., Studzinski R., *Identification of Aluminium Powder Properties for Modelling Free Air Explosions*, Materials, 2022.
- [2] Farrimond D., Woolford S., Tyas A., Rigby S., Clarke S. Barr A., Whittaker M., Pope D., *Far-field positive phase blast parameter characterisation of RDX and PETN based explosives*. International Journal of Protective Structures, 2023.
- [3] Zaker T. A., *Fragment and Debris Hazards*, Department of Defense Explosives Safety Board, Raport DDESB TP-12, 1975.
- [4] Pankowski Z., Kania M., *Badania efektywności procesu fragmentacji 23 mm pocisków kinetycznych*, 2009
- [5] GICHD, *Characterisation of explosive weapons study, annex E - Mk 82 aircraft bomb*, Geneva, 2017.
- [6] Nowak P., Gajewski T., Peksa P., Sielicki P.W., *Experimental verification of different analytical approaches for estimating underwater explosion*. International Journal of Protective Structures, 2022.
- [7] Cole R.H., *Underwater Explosions*, Princeton University Press, Princeton, 1948.