

**ANALIZA ZAGROŻEŃ BEZPIECZEŃSTWA TRANSPORTU MORSKIEGO  
I INFRASTRUKTURY PORTOWEJ OD NIEWYBUCHÓW BRONI PODWODNEJ  
Z OKRESU II W.Ś.**

**EVALUATION OF THE THREAT TO SAFETY OF MARITIME  
TRANSPORTATION AND SHORE CRITICAL INFRASTRUCTURE COMING  
FROM UNDERWATER UNEXPLODED ORDNANCE (UUXO) FORM XX II**

**Adam CICHOCKI**

a.cichocki@amw.gdynia.pl

Akademia Marynarki Wojennej  
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego  
Instytut Uzbrojenia Okrętowego i Informatyki  
Zakład Uzbrojenia Okrętowego

**STRESZCZENIE**

*Artykuł przedstawia problematykę oraz metodykę oceny zagrożenia dla transportu morskiego oraz infrastruktury portowej od niewybuchów broni podwodnej z okresu II W.Ś. Zawiera przykłady i analizę zagrożeń pochodzących od niewybuchów broni podwodnej pochodzących z okresu II Wojny Światowej odnajdywanych w strefie polskich wód przybrzeżnych.*

*W artykule zaprezentowano ogólne zasady określania stref zagrożenia (bezpieczeństwa) podczas neutralizacji i niszczenia przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych pochodzenia wojskowego (niewybuchów) oraz elementarne zasady bezpieczeństwa gwarantujące minimalizację zagrożeń podczas realizacji ww. działań.*

**SUMMARY**

*The article presents problems and methodology of threat assessment to the sea transportations, port facilities and critical infrastructure coming from underwater unexploded ordnance (UUXO) form 2<sup>nd</sup> World War. The examples of foundlings and the analysis of threat from underwater weapons UXOs in the area of Polish Navy responsibility area are included in the article. Furthermore, the article presents the rules and methodology of calculation the danger / safety zone for the ships, port infrastructure and people during the elimination of UXOs with explosive means (methods). The principal rules of safety during such operations are also discussed.*

*Słowa kluczowe: niszczenie niewybuchów, niewybuchy, bezpieczeństwo transportu*

*Key words: underwater unexploded ordnance, UXO, safety of sea transportation, port safety*

**WSTĘP**

Pomimo upływu ponad 70 lat od zakończenia II wojny światowej wciąż dochodzi do operacji neutralizacji niewybuchów z tego okresu zalegających w basach portowych, redach i w strefie brzegowej. Podczas II wojny światowej polskie wybrzeże było miejscem intensywnych działań bojowych, a do dnia dzisiejszego na dnie morza i pasie wybrzeża znajdowane są kolejne przedmioty wybuchowe i niebezpieczne (PWiN). Z przeprowadzonych

analiz dotychczasowej działalności patroli rozminowania oraz, w szczególności nurków minerów MW RP, że oczyszczanie z przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych terenu w strefie brzegowej i w morzu będzie zadaniem wykonywanym przez przynajmniej kolejnych kilka, a nawet kilkanaście lat.

Wiele z przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych (PWiN) to niewybuchy broni podwodnej (miny, torpedy i bomby głębinowe ale również pociski raketowe i artyleryjskie) o znacznej zawartości materiału wybuchowego.

Ich stan techniczny spowodowany zaleganiem na dnie morskim przez kilkadziesiąt lat powoduje, że są one nieprzewidywalne. Oddziaływanie środowiska morskiego w postaci pływów, prądów lub też oddziaływaniem na nie w wyniku działalności technicznej człowieka (wstrząsy, poruszenie, przemieszczanie itp.) może doprowadzić do ich nieoczekiwanej eksplozji. Dlatego pod żadnym pozorem nie mogą dotykać ich osoby nieuprawnione, nie Działania związane z ich identyfikacją, analizą a w konsekwencji likwidacją (neutralizacją) powinny być realizowane wyłącznie przez personel posiadający właściwe umiejętności, przeszkolenie i wyposażenie techniczne.

## **1. NIEWYBUCHY BRONI PODWODNEJ – OBIEKTY ZAGRAŻAJĄCE BEZPIECZEŃSTWU**

Za przedmioty wybuchowe uważa się wszelkiego rodzaju przedmioty pochodzenia wojskowego, które z uwagi na swe właściwości wybuchowe grożą niebezpieczeństwem w razie niewłaściwego obchodzenia się z nimi (ruszanie, rozkręcanie, rzucanie, itp.), jak i w razie zetknięcia z wysoką temperaturą.

Zalicza się do nich w szczególności uzbrojenie artyleryjskie (zapalniki, pociski, granaty, naboje), minowe i bombowe (miny, bomby lotnicze, ładunki materiałów wybuchowych, głowice bojowe wszelkich typów) oraz uzbrojenie broni podwodnej (miny morskie wszelkiego typu, torpedy i bomby głębinowe).

**Niewybuch**, w przeciwieństwie do niewypału, to środek bojowy (pocisk, granat, bomba lub ładunek kruszący), który został użyty i pomimo zaistnienia warunków do wybuchu – nie zdetonował. Nie nastąpiła przemiana energii potencjalnej materiału wybuchowego w energię mechaniczną i cieplną.

**Niewypał** natomiast, jest to środek bojowy, który nie został poprawnie użyty, odpalony np. na skutek zacięcia się broni lub innych usterek.

Obydwa takie środki bojowe stanowią zagrożenie choćby z samego faktu, iż zawierają ładunek materiału wybuchowego. Niewybuchy stanowią jednakże zagrożenie większe niż

niewypały, głównie z powodu, iż należy zakładać ich poprawne przygotowanie i użycie jako środka bojowego, natomiast nie są znane przyczyny braku wybuchu (detonacji) ładunku materiału wybuchowego. Należy jednakże oczekiwać, iż w procesie użycia niektóre elementy zapalnika (przynajmniej niektóre) zadziałały prawidłowo i elementy wykonawcze (odpowiedzialne za umożliwienie detonacji np. zapał, spłonka) znajdują się w położeniu bojowym. Wobec braku wiedzy na temat przyczyn braku detonacji środka bojowego, nie znany jest stan elementów uzbrojenia odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa obsługi i w konsekwencji nie znane są warunki w jakich mogłoby dojść do niekontrolowanej detonacji niewybuchu.

Niewybuchem jest każdy przedmiot zawierający ładunek wybuchowy lub materiał wybuchowy w stanie wolnym, który powinien zdetonować jednak pomimo stworzenia warunków koniecznych do tego procesu nie doszło do wybuchu. Pojęcie niewybuchu odnosi się do środków zawierających materiał wybuchowy o charakterze kruszącym lub analogicznych, w których wybuch ma charakter detonacji.

Zarówno we współczesnych jak i tych z okresu II WŚ minach, bombach głębinowych i torpedach zastosowanie znajdują kruszące materiały wybuchowe na bazie wysokoenergetycznych związków nitrowych z uwagi na ich (w odróżnieniu od materiałów inicjujących i miotających) szczególnie **niszczące** oddziaływanie na otoczenie.

Niezależnie od rodzaju i proporcji składników stosowane w środkach bojowych materiały wybuchowe posiadają następujące właściwości:

- wysokie parametry detonacyjne i termochemiczne (szczególnie istotne dla kruszących materiałów wybuchowych jest ciepło wybuchu oraz prędkość detonacji);
- dużą trwałość fizyczną i chemiczną (czyli zachowanie pierwotnych właściwości materiału istotnych dla procesu wybuchu przez maksymalnie długi okres czasu);
- zdolność do detonacji od inicjatorów o niewielkiej masie (czyli posiadać dużą wrażliwość);
- elaborację amunicji, komór i głowic bojowych w bezpiecznym zakresie temperatur (głównie tzw. topliwe materiały wybuchowe uzyskujące postać płynną lub półpłynną w temperaturach około od 60 do 90 °C).

Wymienione powyżej cechy charakteryzujące materiały wybuchowe mają istotne znaczenie w kontekście niewybuchów, gdyż jak pokazuje doświadczenie bez istotnej degradacji swoich właściwości mogą przetrwać 70 lat pod wodą i ciągle stanowić poważne zagrożenie żeglugi i transportu morskiego.

## **2. POSZUKIWANIE, KLASYFIKACJA I IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW PODWODNYCH**

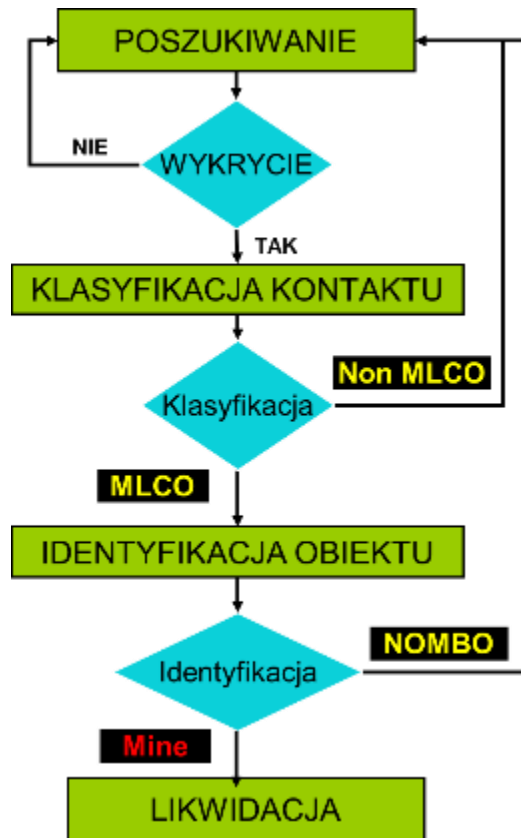
Procedura postępowania, znana jako „*od wykrycia do zniszczenia*” (Rysunek 1) jest zgodna z procedurami zwalczania min metodami „minehuntingu” i w ogólnym zarysie proces obejmuje następujące po sobie cztery etapy:

- wykrycie i określenie położenia (wykrycie echa mino-podobnego (MILEC – MIneLike ECho);
- klasyfikację kontaktu (analizę kontaktu mino-podobnego (MILCO – MIneLike COntract);
- identyfikację obiektu (określenie czy obiekt nie jest miną (NOMBO – NOn MInelike Bottom Object) lub obiekt jest miną (Mine) lub obiektem niebezpiecznym (UUXO – Underwater UneXploded Ordnance);
- likwidację zagrożenia (obiekty) poprzez detonację w miejscu lub wydobycie.

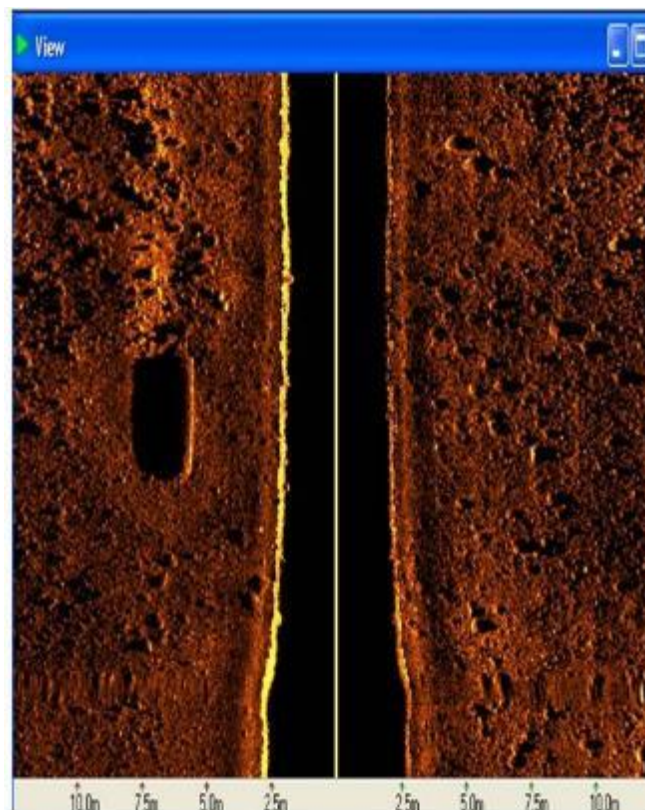
Wykrycie (detekcja) obiektu niebezpiecznego przebiega najczęściej z użyciem technik hydrolokacyjnych (sonarów bocznych, echosond wielowiązkowych), które to pozwalają na określenie położenia oraz dokonanie wstępnej klasyfikacji i identyfikacji obiektu podwodnego.

Od wielu lat w wodach Zatoki Gdańskiej i Zatoki Puckiej systematycznie odnajdywane są niewybuchy broni podwodnej w postaci torped, min czy bomb głębinowych. Szczególnie często odnajdywane są torpedy (przeważnie niemieckie) z uwagi na działalność badawczo-rozwojową oraz testy niemieckich torped prowadzone w tym rejonie przez Hitlerowców w ramach poligonów morskich i torpedowni rozlokowanych w tym rejonie. Z uwagi na charakter działalności zdecydowana większość odnajdywanego uzbrojenia to uzbrojenie ćwiczebne (bez głowicy bojowej zaelaborowanej materiałem wybuchowym) i jako takie nie stanowiące większego zagrożenia.

Od roku 2014 w bezpośredniej bliskości portu Gdynia (zarówno wewnątrz portu jak i na podejściu) oraz portu Gdańsk (okolice Twierdzy Wisłoujście) aż do dnia dzisiejszego (ostatnie wykryte obiekty pochodzą z kwietnia roku 2018) odnajdywane są o wiele bardziej niebezpieczne niewybuchy broni podwodnej w postaci bojowych min dennych (niemieckich i alianckich).



Rys. 1. Algorytm klasyfikacji i identyfikacji obiektów minopodobnych  
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Torpeda niemiecka (G7e) na głębokości 11 m  
 Źródło: Zasoby autora.

Miny morskie zidentyfikowane jako typu GC-1, GC-2 (LMB lotnicze / morskie) oraz miny alianckie typu Mk VI. Morskie miny denne wg. oznaczenia niemieckiego LMB (niem. Luft Minen Model B) a według oznaczenia aliantów GC-1 (ang. German Mine Type C) były minami w wersji lotniczej, czyli przystosowane do stawiania z samolotu z wykorzystaniem spadochronu zintegrowanego z konstrukcją miny (Rysunek 3).

Druga wersja miny GC, bliźniaczo podobna do poprzedniej to mina wg. oznaczenia niemieckiego LMB/S (niem. Luft Minen Model B) a według oznaczenia aliantów GC-2 (ang. German Mine Type C) przystosowana do stawiania z nosiciela nawodnego np. okrętów typu E-boat (niem. Schnellboot lub S-Boot) – nie zawierające spadochronu (Rysunek 4).



Rys. 3. Mina typu GC-1 (LMB)  
Źródło: Zasoby autora.



Rys. 4. Mina typu GC-2 (LMB/S)  
Źródło: Zasoby autora.

Powyższe fotografie przedstawiają dwa z dziesięciu odnalezionych na dnie Zatoki Gdańskiej obiektów niebezpiecznych w maju 2018 roku.



Rys. 5. Aliancka mina typu Mk-VI wydobyta w 2016 roku

Źródło: Zasoby autora.

Według dostępnych informacji o niemieckim uzbrojeniu broni podwodnej w minach typu GC (LMB) stosowana była mieszanina materiału wybuchowego pod nazwą Heksanit (*ang. Hexanite*) o składzie w proporcjach 63% TNT, 13% Heksyl oraz 23% proszku aluminium.

Tabela 1. Parametry min niemieckich typu GC oraz miny typu Mark VI

| Typ miny torpedy | Średnica [mm] | Długość [mm] | Masa miny [kg] | Rodzaj ŁMW <sup>1</sup> | Masa ŁMW [kg] |
|------------------|---------------|--------------|----------------|-------------------------|---------------|
| GC-1 (LMB)       | 660           | 2980         | 986            | heksanit                | 696           |
| GC-2 (LMB/S)     | 660           | ~ 2000       | -              | heksanit                | 696           |
| Mark VI          | 470           | 2765         | 816            | amatol                  | 430           |

Źródło: Opracowanie własne.

### 3. ANALIZA ZAGROŻENIA PODCZAS LIKWIDACJI NIEWYBUCHÓW BRONI PODWODNEJ

Dla zapewnienia bezpieczeństwa podczas likwidacji obiektów niebezpiecznych, która przebiega często (z uwagi na charakter obiektów) przebiega metodami wybuchowymi niezbędne jest określenie stref bezpieczeństwa oddziaływania wybuchu podwodnego (podwodnej fali uderzeniowej) na ludzi, zwierzęta, statki oraz obiekty techniczne w rejonie prowadzenia operacji.

Można wyróżnić dwie metody wyznaczania stref bezpieczeństwa:

**ANALITYCZNA** – bazującą na kalkulacji i wyznaczaniu parametrów wybuchu podwodnego (podwodnej fali uderzeniowej) a w szczególności ciśnienia maksymalnego na froncie fali uderzeniowej.

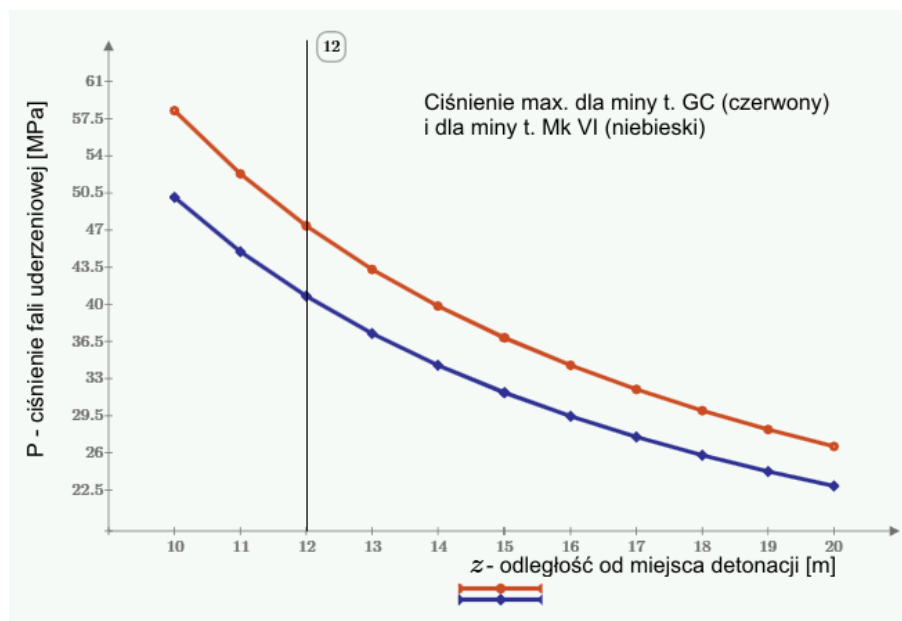
<sup>1</sup> ŁMW – ładunek materiału wybuchowego

Zależności na ciśnienie maksymalne podwodnej fali uderzeniowej przyjmie postać wzoru Roberta Cole'a:

$$P_{max} = 533 \cdot 9.869 \cdot 10^4 \left( \frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^\alpha \text{ [Pa]}$$

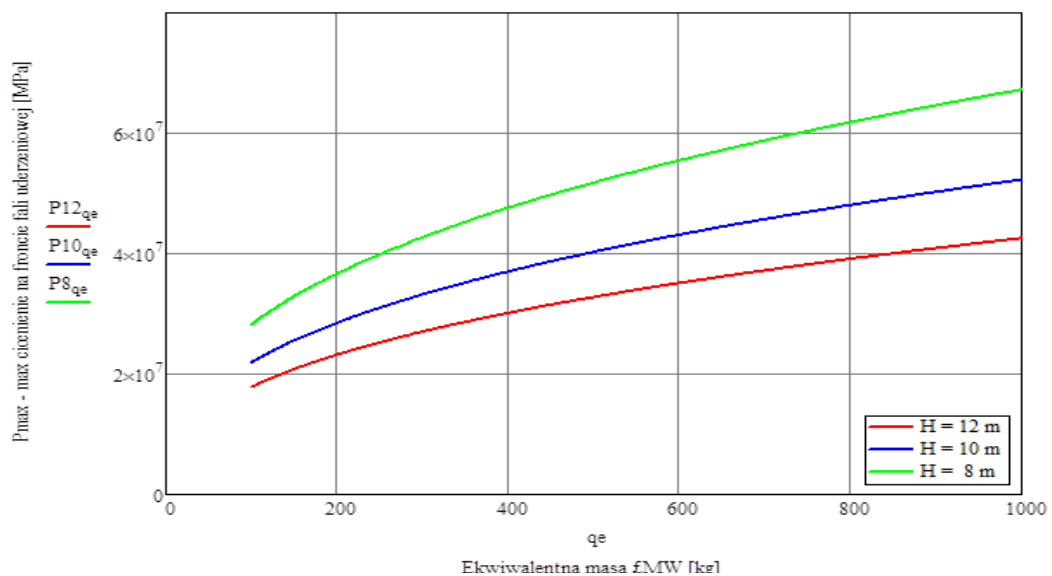
gdzie: G – masa ekwiwalentna ŁMW [kg]  
 R – odległość [m]  
 α – współczynnik empiryczny (1,13 dla TNT)

Poniższy wykres przedstawia zmiany ciśnienia fali uderzeniowej w funkcji odległości w przypadku detonacji min typu GC oraz Mk VI na głębokości 12 m.



Rys. 6. Zmiany ciśnienia fali uderzeniowej w funkcji odległości w przypadku detonacji min typu GC oraz Mk VI na głębokości 12 m

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 7. Ciśnienie maksymalne w funkcji ekwiwalentnej masy ładunku materiału wybuchowego

Źródło: Opracowanie własne.



Metoda analityczna jest jednocześnie metodą „pośrednią”, gdyż wyznaczone jak wyżej parametry wybuchu podwodnego a w szczególności ciśnienia maksymalnego na froncie fali uderzeniowej (wyrażone w MPa) w funkcji odległości od wybuchu (Rysunek 6), w dalszej części analizy, odnosi się do wartości cisnień odporności udarowej kadłubów statków (okrętów) oraz obiektów hydrotechnicznych wyznaczając w ten sposób strefę bezpieczeństwa.

**EMPIRYCZNA** – bazującą na metodyce przyjętej do wyznaczania odległości bezpiecznej przy detonacji podwodnej ŁMW o określonej masie w określonych warunkach wykorzystując zależności empiryczne uwzględniające rodzaj materiału wybuchowego w postaci ładunku trotylu prasowanego.

W praktyce pirotechnicznej najczęściej oblicza się ciśnienie podwodnej fali uderzeniowej w zakresie odległości:

$$5R_o < D < 1000R_o$$

gdzie:  $R_o$  – promień ładunku kulistego [m],

Dla zastosowania powyższej zależności masę ŁMW innego niż trotyl (np. heksanit, amatol, minol) należy najpierw wyrazić w tzw. równoważniku trotylowym oraz uwzględnić tzw. współczynnik denny określający wzmocnienie (osłabienie) siły detonacji (defacto ciśnienia podwodnej fali uderzeniowej) w wyniku odbicia się fali detonacyjnej od różnego typu dna.

Wartość współczynnika dennego teoretycznie zawiera się w przedziale od 0 do 2. Zakres wartości od 0 do 1 dotyczy ładunków zagrzebanych w dnie morskim.

Współczynnik  $k_d = 2$  oznacza dno absolutnie twarde, wtedy odbiciu ulega połowa energii wybuchu. Dla analizowanych akwenów ze względu na charakter dna przyjęto wartość współczynnika dennego  $k_d = 1,6$ .

W wyniku uwzględnienia równoważnika trotylowego oraz współczynnika dennego do obliczeń przyjmuje się tzw. „skorygowaną wartość masy ŁMW” oznaczoną jako  $q_e'$ .

Kalkulacje stref bezpieczeństwa oddziaływania wybuchu podwodnego (podwodnej fali uderzeniowej) od ww. niewybuchów broni podwodnej dla jednostek pływających wyznacza się w oparciu o empiryczną zależność:

$$R_b = 76 \div 100^3 \sqrt{q_e'} \quad [\text{m}]$$

Natomiast stref bezpieczeństwa dla budowli betonowych i żelbetowych w oparciu o zależność

$$R_b = 18^3 \sqrt{q_e'} \quad [\text{m}]$$

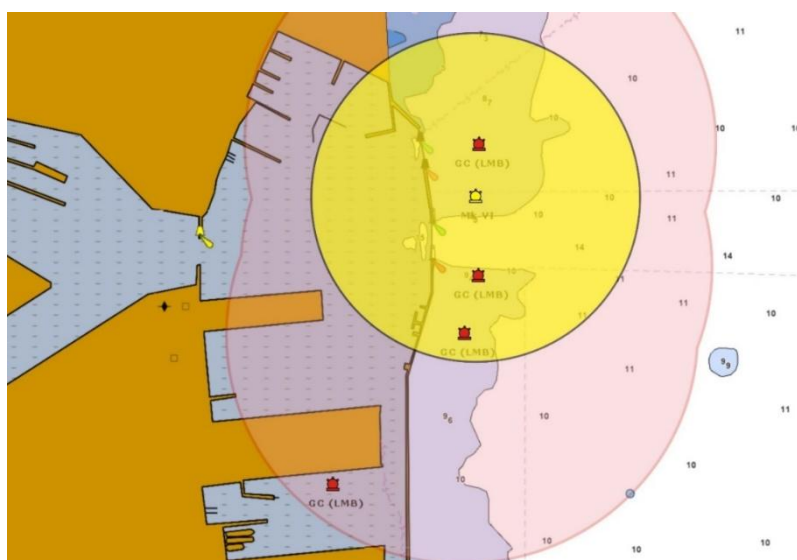
Wyznaczone strefy bezpieczeństwa<sup>2</sup> dla min dennych (typu GC-1/2 oraz iny t. Mk VI) zostały przedstawione w poniższej tabeli oraz naniesione na mapę dla zobrazowania strefy zagrożenia wybuchem podwodnym dla jednostek pływających.

Tabela 3. Strefy niebezpieczne dla detonacji niewybuchów broni podwodnej

| Typ miny | Masa ŁMW [kg] | $q_e'$ [kg] | $R_b$ [m] dla statków | $R_b$ [m] dla budowli |
|----------|---------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| GC (LMB) | 696           | 1336        | <b>836 ÷ 1100</b>     | <b>198</b>            |
| Mk VI    | 430           | 895         | <b>730 ÷ 960</b>      | <b>173</b>            |

Źródło: Opracowanie własne.

Zobrazowanie stref zagrożeń na rysunku 8 wykonano dla sytuacji mającej miejsce trzy lata temu, w której to wykryte obiekty znajdowały się w odległości od 200 do 250 metrów od linii falochronu portu Gdynia oraz w odległości do 150m od środka toru wodnego wejścia do Portu Marynarki Wojennej. Strefę zagrożenia dla kąpiących się w morzu ludzi i zwierząt można oszacować na około 10 km.



Rys. 8. Lokalizacja wykrytych min typu GC (kolor czerwony) oraz miny Mk VI (kolor żółty) oraz strefy zagrożeń wybuchem podwodnym dla jednostek pływających

Źródło: Opracowanie własne.

Etap końcowy operacji usuwania (niszczenia) poprzedza etap rozpoznania, w czasie którego dokonywana jest szczegółowa klasyfikacja i identyfikacja obiektu, a jej wyniki determinują dalszą metodykę postępowania. Poprawne zrealizowanie tych dwóch procesów zapewni adekwatne użycie sił i środków w procesie likwidacji, a w dalszej konsekwencji zapewni bezpieczeństwo ludzi, jednostek pływających oraz infrastruktury hydrotechnicznej.

<sup>2</sup> Pojęcie stref bezpieczeństwa oraz stref zagrożenia (stref niebezpiecznych) można stosować zamiennie pamiętając że w odległości mniejszej od/do danego obiektu, w intencji którego wykonujemy kalkulację strefa ta będzie strefą niebezpieczną (zagrożenia), natomiast w odległości większej od wyznaczonej – strefą bezpieczną

#### 4. PODSUMOWANIE

Likwidacja (usuwanie) obiektów stwarzających zagrożenie realizowana przez siły Marynarki Wojennej stanowi najbardziej wrażliwy i niebezpieczny element operacji ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa zarówno przy wydobyciu niewybuchu jak i przy jego likwidacji metodami wybuchowymi.

Prace związane z oczyszczaniem akwenów z obiektów niebezpiecznych i niewybuchów w polskiej strefie odpowiedzialności trwają od zakończenia drugiej wojny światowej. Należy jednocześnie zauważyć, że jeszcze kilka lat wstecz, zarówno technologia jak i metodyka prowadzenia tychże działań nie pozwalała zagwarantować wymaganego prawdopodobieństwa detekcji, klasyfikacji oraz neutralizacji zagrożenia, co w konsekwencji implikuje fakt, iż wciąż podobne obiekty (niewybuchy) są odnajdywane.

Problematyka detekcji, rozpoznania i neutralizacji niewybuchów broni podwodnej i innych tego typu zagrożeń opisana w referacie stanowić będzie przedmiot kolejnych badań i analiz, których wyniki będą prezentowane w kolejnych publikacjach.

#### LITERATURA

- Cichocki, A., Chmieliński, M. (2017). *Safety of transport and disposal for explosive ordnance in ports, roadsteads and at open sea*. Referat wygłoszony na: XII Międzynarodowa Konferencja nt. „Nawigacja Żegluga Morskiej i Bezpieczeństwa Transportu Morskiego – TransNav. Gdynia.
- Cichocki, A., (2016). *Działalność marynarki wojennej w zakresie bezpieczeństwa transportu morskiego, metody neutralizacji zagrożeń od niewybuchów broni podwodnej*. Referat wygłoszony na: XX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu” “NavSup 2016”. Gdynia.
- Military explosives. (1984). *Dep.of the army technical manual TM 9-1300-214*, Washington.
- Mine Disposal Handbook. Part IV. (1945). German Underwater Ordnance. Chapter 5. German Controlled Mines.
- Mine Disposal Handbook. Part III. (1944). British Underwater Ordnance. Chapter 1. British Influence Mines.
- Praca zbiorowa. Prace podwodne. Klatka N. Rozdział 4. (1971). *Zagrożenie wybuchem podwodnym*. Gdańsk.
- Sztab Generalny WP. (1995). *Prace minerskie i niszczenia*. Warszawa: Szefostwo Wojsk Inżynieryjnych. Inż. 572/94.

NO-02-A043:2009. *Wojska inżynieryjne — Rozpoznanie, rozminowanie i oczyszczanie terenów z przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych.*