

Adam CICHOCKI<sup>1</sup>

### **APLIKACJA WSPOMAGAJĄCA PROCES BEZPIECZNEGO PŁYWANIA W WARUNKACH ZAGROŻENIA PODWODNEGO**

*Referat przedstawia opis i możliwości programu komputerowego wspierającego proces bezpiecznego pływania jednostki nawodnej w warunkach zagrożenia oddziaływaniem uzbrojenia broni podwodnej. Potwierdzona, wysoka skuteczność uzbrojenia torpedowego przeznaczonego do zwalczania nawodnych jednostek pływających, wymaga znajomości i zastosowania odpowiednich działań ze strony zagrożonej jednostki w celu obniżenia prawdopodobieństwa rażenia.*

*Aplikacja skonstruowana w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej, jako narzędzie badawcze i dydaktyczne ma na celu optymalizację metod wykonywania manewru uchyleń oraz zabezpieczenie szkolenia oficerów wachtowych w realizacji procedur w zakresie reagowania w sytuacji zagrożenia bezpieczeństwa.*

### **APPLICATION SUPPORTING THE SHIP NAVIGATION IN UNDERWATER THREAT CONDITIONS**

*The article describes the computer application which can be used to support the decision making process of ship navigation while the threat from underwater weapons exists. As the underwater threat the heavy weight torpedoes are considered which are actually the most dangerous submarine weapon against surface ship. In such a threat condition the attacked ship has to perform some specific evasive maneuver to decrease the torpedo hit probability and thereby increase the safety of the ship.*

*Described application can be used as tool for optimization the method of ship evasive maneuver realization as well to teach and verify the ship watch officers critical decisions and undertaken actions.*

## **1. WSTĘP**

W ciągu ponad 200 lat od momentu skonstruowania pierwszego okrętu podwodnego<sup>2</sup> (OP), jednostki te potwierdziły niezłomie swoje wysokie walory bojowe, a ich głównym atrybutem była – i pozostaje do dziś – skrytość działania. Są one groźnym i wysoce skutecznym rodzajem sił morskich, zwłaszcza w działaniach na morskich liniach

<sup>1</sup>Adam CICHOCKI – Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Gdynia

<sup>2</sup> Za konstruktora pierwszego okrętu podwodnego, zdolnego do zanurzania się i atakowania okrętów nawodnych spod wody, należy uznać studenta Uniwersytetu Yale, Amerykanina Davida Bushnella.

komunikacyjnych. Na dzień obecny około 40 flot na świecie posiada na wyposażeniu okręty podwodne, a ich sumaryczną liczbę ocenia się na blisko 500 sztuk<sup>3</sup>.

Współczesne, klasyczne okręty podwodne stwarzają tak duże zagrożenie jednostkom pływającym na wodach płytkowodnych i przybrzeżnych, że wprowadzone zostało określenie „niesymetrycznego” zagrożenia celem podkreślenia niedostatecznych jakościowo środków zwalczania okrętów podwodnych (ZOP), nie równoważących stwarzanego przez okręty podwodne zagrożenia.

Głównym zadaniem klasycznych okrętów podwodnych jest zwalczanie jednostek pływających przeciwnika, co realizowane jest przy użyciu ich głównego uzbrojenia – torped. Dzisiejsze torpedy charakteryzują się wysokim stopniem zaawansowania, niskim poziomem szumów własnych, dużą prędkością (> 50 węzłów), dużym zasięgiem (> 50 km), posiadają układy naprowadzania zapewniające duży zasięg wykrycia celu (> 1000 m) oraz zaawansowaną logikę.

Rozpatrując osiągnięcia i rozwój w dziedzinie konstrukcji różnych środków walki, zauważyć można niemal równoległe wdrażanie antybroni, w czym przejawia się dialektyczne prawo jedności środków walki i środków obrony. Znane są więc z historii wojskowości pary: miecz i tarcza, armata i pancerz, mina morska i trał oraz wiele innych. Na podobnej zasadzie, wkrótce po skonstruowaniu torpedy i wprowadzeniu jej na uzbrojenie, opracowane zostały mniej lub bardziej skuteczne sposoby i środki obrony przed tym rodzajem broni.

Techniczne środki przeciwdziałania na dzień dzisiejszy nie dorównują pod względem zaawansowania uzbrojeniu torpedowemu, a obrona przeciwtorpedowa, jako całość, nie nadąża za jego rozwojem. Trudności wynikają głównie z niezwykle skomplikowanego procesu uzyskiwania informacji w specyficznym środowisku, jakim jest ośrodek wodny, z czym pośrednio jest związany również problem znacznie ograniczonego czasu na podjęcie przeciwdziałania.

Należy więc zadać pytanie, czy nie zapomina się zbyt łatwo o sposobach najbardziej oczywistych, najprostszych, a przez to niezawodnych?

Takim sposobem obrony przed atakiem torpedowym jest manewrowanie jednostką pływającą w celu uniknięcia trafienia torpedą.

Dogłębne rozważania w tym zakresie były jednym z celów sfinansowanego projektu badawczego pt.: ”Optymalizacja algorytmów manewrowania jednostką nawodną w warunkach zagrożenia podwodnego na potrzeby zwiększenia bezpieczeństwa pływania” (Nr ON526 002034) zrealizowanego w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

Wynikiem realizacji powyższego projektu jest również program komputerowy wspomagający proces kierowania jednostką pływającą (podejmowania decyzji) w warunkach zagrożenia atakiem torpedowym, którego opis i działanie jest tematem niniejszego referatu.

## 2. PRZEZNACZENIE I MOŻLIWOŚCI APLIKACJI

Obrona jednostek nawodnych przed torpedami nie doczekała się na dzień dzisiejszy realizacji satysfakcjonującej pod względem efektywności w żadnej z flot na świecie

<sup>3</sup> Dokładna liczba: państwa NATO 161 sztuk, pozostałe państwa 312 sztuk [Jane's 2008].

pomimo, że wielu liczących się producentów uzbrojenia broni podwodnej posiada w swojej ofercie mniej lub bardziej skuteczne tzw. techniczne środki przeciwdziałania.

Manewrowanie jednostką nawodną jako środek obrony przeciwtorpedowej jest stosowany od II Wojny Światowej. Z tego okresu pochodzą również wszelkie założenia i wytyczne do realizacji tzw. manewru uchylecia, które pomimo intensywnego rozwoju uzbrojenia torpedowego nie zostały gruntownie zweryfikowane. Istnieje zatem potrzeba weryfikacji obowiązujących zasad realizacji manewru uchylecia przed atakiem torpedowym przez jednostki nawodne i udzieleniu odpowiedzi na pytanie, czy pozostaje on skutecznym sposobem obrony przed współczesnymi torpedami. Analiza obecnego stanu zaawansowania technicznego uzbrojenia torpedowego sugeruje, że odpowiedź na tak postawione pytanie może być negatywna. Należałoby, w związku z tym, zaproponować nową metodę realizacji manewru uchylecia, która zapewni minimalizację prawdopodobieństwa trafienia (rażenia) jednostki będącej celem ataku torpedowego.

Aplikacja komputerowa (program symulacyjny) przy użyciu którego istnieje możliwość symulacji wykonywania odpowiedniej ilości ataków torpedowych i realizacji manewru uchylecia przez jednostkę nawodną według przyjętych algorytmów (scenariuszy) działania okazuje się przydatnym narzędziem do oceny efektywności wykonywania manewru uchylecia przez jednostki atakowane.

Aplikacja w postaci klienta i serwera pozwala ponadto na jej działanie w trybie treningowym, tzn. istnieje możliwość szkolenia w zakresie realizacji manewrowania jednostką pływającą w obronie przeciwtorpedowej pod nadzorem instruktora.

Takie możliwości aplikacji symulatora umożliwiają szkolenie oficerów wachtowych jednostek pływających oraz przyczyniają się do zwiększenia bezpieczeństwa pływania w warunkach zagrożenia potencjalnym atakiem torpedowym.

Treningi z wykorzystaniem aplikacji symulatora dają możliwość opanowania podstaw realizacji manewru uchylecia zgodnie z określonymi procedurami, co pozwoli na minimalizację prawdopodobieństwa trafienia (rażenia) jednostki nawodnej współczesnymi torpedami.

Aplikacja może znaleźć praktyczne zastosowanie nie tylko w procedurach manewrowania jednostkami nawodnymi i jako potencjalna implementacja w zintegrowanych (zautomatyzowanych) systemach dowodzenia / kierowania jednostkami (okrętami), ale również w programach nauczania na uczelniach morskich.

## **2.1 Dane wejściowe do aplikacji – identyfikacja zagrożenia**

Współczesna torpeda jako główne uzbrojenie okrętów podwodnych (OP) oraz okrętów nawodnych zwalczania okrętów podwodnych (ON ZOP) jest uzbrojeniem wysoce zaawansowanym i efektywnym. Jako taka, użyta przez skrycie działający okręt podwodny przeciwko nawodnej jednostce pływającej stanowi bardzo poważne zagrożenie, któremu przeciwdziałanie ze strony cywilnej jednostki pływającej z nieświadomą i niewyszkoloną załogą jest praktycznie niemożliwe.

Ze względu na różne rodzaje i typy uzbrojenia torpedowego obejmujące:

- różne rodzaje napędu torpedy (torpedy cieplne /parogazowe/ i elektryczne);
- różne rodzaje torped wykorzystujące metody poszukiwania i naprowadzania się na cel ataku (torpedy tzw. prosto idące, torpedy samonaprowadzające się na pole

akustyczne celu /pierwotne lub wtórne/, samonaprowadzające się na ślad torowy<sup>4</sup> celu oraz samonaprowadzające się torpedy telesterowane);

Torpedy ciężkie (ang. *HWT - Heavy Weight Torpedo*) w przeciwieństwie do torped lekkich (ang. *LWT - Light Weight Torpedo*) stanowią podstawowe uzbrojenie współczesnych okrętów podwodnych i służą do zwalczania jednostek nawodnych.

Współczesna torpeda nie tylko musi być skuteczna i efektywna, ale również, jako produkt, spełniać szereg wymagań użytkowników w zakresie charakterystyk taktyczno – technicznych oraz eksploatacyjnych. Najwięksi światowi projektanci i producenci uzbrojenia torpedowego: ATLAS Elektronik (Niemcy), Whitehead Alenia Sistemi Subacquei (WASS) (Włochy), Naval Undersea Warfare Center (NUWC) US Navy (USA), BAE Underwater Systems (Anglia), SAAB Underwater Systems (Szwecja), Dvigatel i Morteploekhnika (Federacja Rosyjska) wytyczają kierunki rozwoju uzbrojenia torpedowego, konstruując nowe i modernizując starsze jego typy.

## 2.2 Modele matematyczne ruchu oraz algorytmy działania torped

Dla realizacji założonych celów niezbędnym było stworzenie modeli matematycznych ruchu takich pojazdów podwodnych jakimi są torpedy oraz uwzględniania ich algorytmów i logiki działania dla jak najwierniejszego odtworzenia sposobu działania tego typu zagrożenia na obiekt ataku.

Wirtualny, zasymulowany komputerowo obiekt badań stanowi przybliżenie obiektu rzeczywistego. Jakość tego przybliżenia wpływa na jakość przeprowadzonych badań symulacyjnych. Zamodelowanie matematyczne pojazdów podwodnych jakimi są torpedy pozwala na przeprowadzenie ich badań symulacyjnych. Dla celów modelowania matematycznego istotne jest rozwiązanie równań ruchu torpedy w 6-ciu stopniach swobody. Przyjęte do symulacji komputerowej równania ruchu mają następującą postać macierzową:

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

gdzie:

$v$  – wektor prędkości liniowych i kątowych:

$$v = [u, v, w, p, q, r]$$

$M$  – macierz inercji:

$$M = M_{RB} + M_A \quad (2)$$

gdzie:

$M_{RB}$  - macierz mas ciała sztywnego,

$M_A$  - macierz mas towarzyszących.

$C(v)$  – macierz sił odśrodkowych i dośrodkowych Coriolisa:

<sup>4</sup> Pod pojęciem śladu torowego należy rozumieć przypowierzchniową warstwę wody zaburzonej przez ruch jednostki nawodnej, a przede wszystkim przez obroty śrub okrętowych oraz turbulentny charakter opływu hydrodynamicznego kadłuba jednostki.

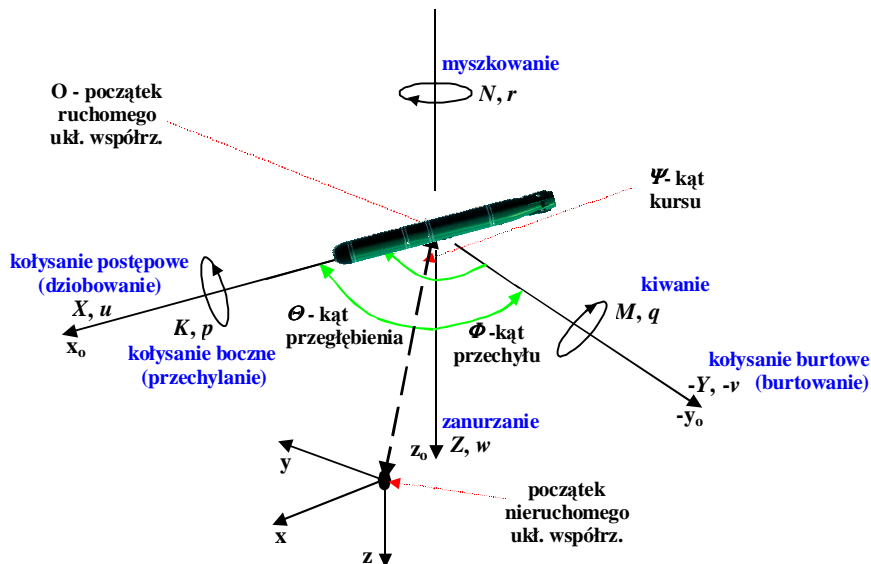
$$C(v) = C_{RB}(v) + C_A(v) \tag{3}$$

gdzie:

- $C_{RB}$  - macierz Coriolisa pojazdu traktowanego jako ciało sztywne,
- $C_A$  - macierz uwzględniająca masy towarzyszące.
- $D(v)$  – macierz tłumienia hydrodynamicznego,
- $g(\eta)$  – macierz sił przywracających (siły ciężkości  $P$  i siły wyporu  $B$ ),
- $\tau$  – wektor sił i momentów oddziaływujących na torpedę, czyli  $\tau = [X, Y, Z, K, M, N]$ .

Dla analizy ruchu pojazdu podwodnego (torpedy) przyjęto dwa układy odniesienia (rys. 1):

1. Ruchomy układ współrzędnych  $x_0y_0z_0$  związany z torpedą (torpedowy).
2. Nieruchomy układ współrzędnych  $xyz$  związany z Ziemią (ziemski).



Rys. 1. Torpeda w układzie odniesienia: związanym z pojazdem i z Ziemią

### 2.3 Działanie aplikacji

Program symulacyjny uwzględnia większość czynników mających wpływ na realizację poszczególnych etapów obrony przeciwtorpedowej z udziałem nawodnej jednostki pływającej, w tym: dynamikę ruchu oraz logikę działania torpedy, dynamikę ruchu jednostki-celu, zasięgi i propagację fal akustycznych w symulowanym ośrodku wodnym. Ze względu na brak dostępu do tego typu instrumentów, jego skonstruowanie i dalsze wykorzystanie w procesie wspomaganie bezpieczeństwa pływania oraz optymalizacji

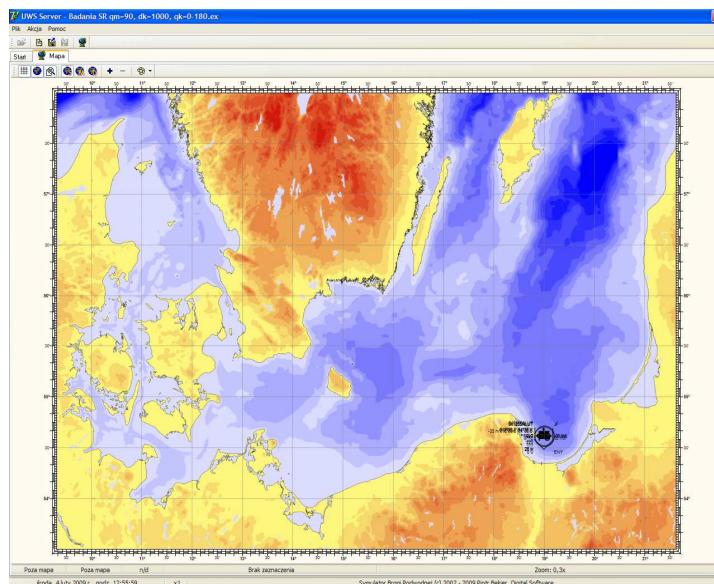
realizacji manewru uchylenia przed torpedą jest podstawą do oceny skuteczności działań podejmowanych przez załogę zagrożonej jednostki pływającej w warunkach zagrożenia.

Oprogramowanie aplikacji zostało napisane w języku *Borland Delphi* i jest produktem sieciowym. Zdecydowano się na wykorzystanie protokołu transmisyjnego TCP/IP ze względu na jego popularność i łatwość implementacji. Nie bez znaczenia jest również fakt dużego uniwersalizmu i możliwości przesyłania różnego formatu danych. Środowisko symulacyjne składa się z dwóch aplikacji:

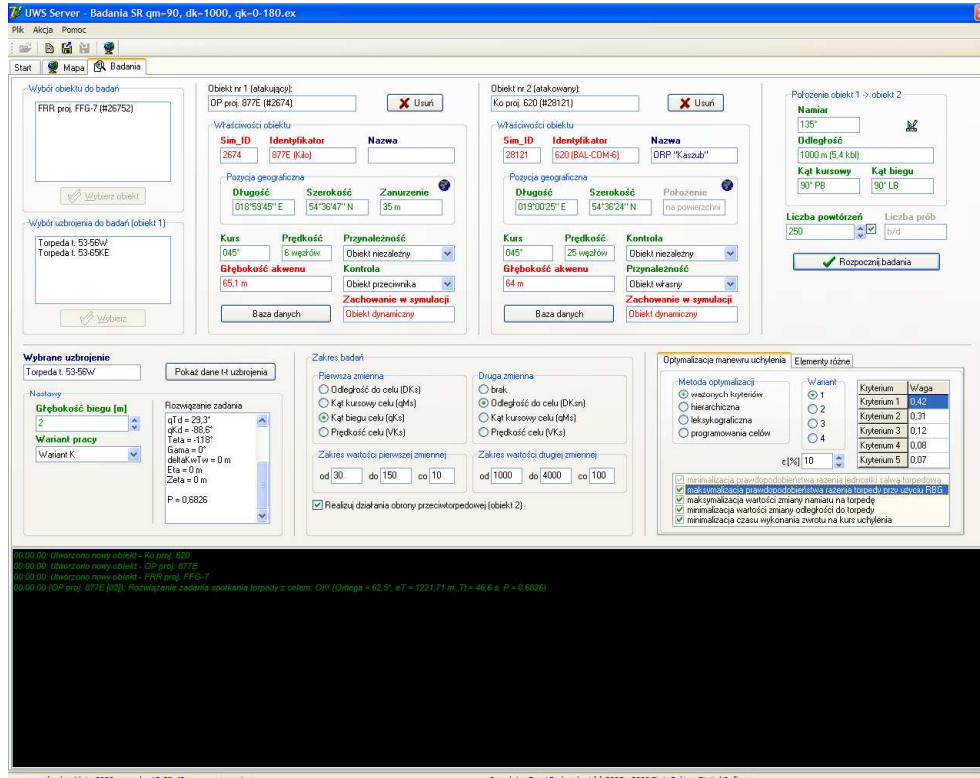
1. **Programu serwera**, będącego główną aplikacją, odpowiedzialną za realizację funkcji i procedur symulacyjnych, komunikację sieciową, obsługę komunikatów oraz wizualizację sytuacji taktycznej (rys. 11).
2. **Programów klienckich**, realizujących symulację stanowisk (obiektów) symulacyjnych.

Program serwera posiada następujące cechy i funkcje użytkowe: zaimplementowany model batymetryczny południowo-wschodniej części akwenu Morza Bałtyckiego (Rys.2.), zaimplementowaną bazę danych obiektów (Rys.3.), możliwość wykorzystania do 127 stanowisk symulacyjnych (programów klienckich) podłączanych dynamicznie przy użyciu sieci.

Program serwera w procesie symulacji realizowanych działań funkcjonuje również jako stanowisko instruktora nadzorującego i oceniającego poprawność i kolejność podejmowanych decyzji i działań ze strony ćwiczących. Pozwala na dowolną lokalizację rejonu ćwiczenia w zakresie symulowanego obszaru, wyboru i konfiguracji formy zagrożenia (rodzaju i sposobu działania torpedy) oraz bieżącego oszacowania prawdopodobieństwa rażenia celu dla danej sytuacji taktycznej.



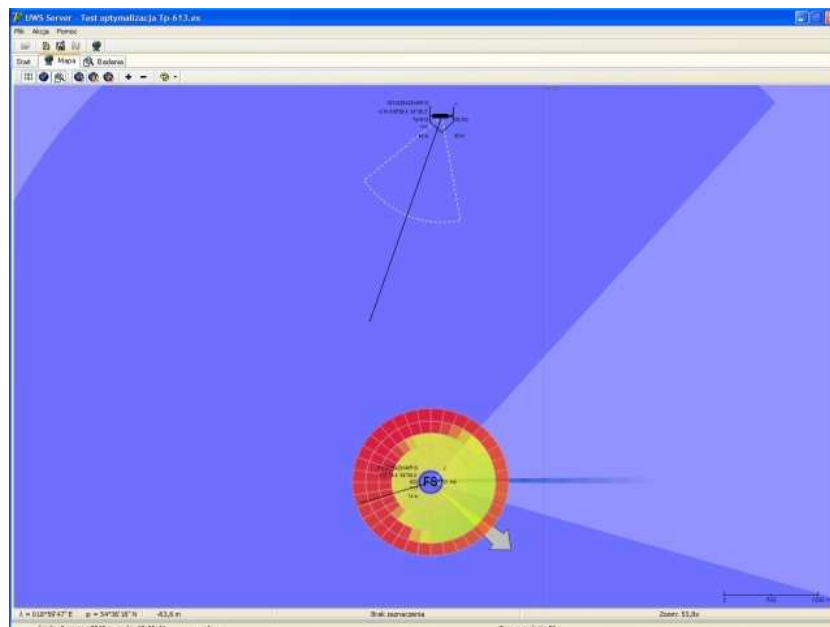
Rys.2. Ekran programu serwera – zobrazowanie taktyczne



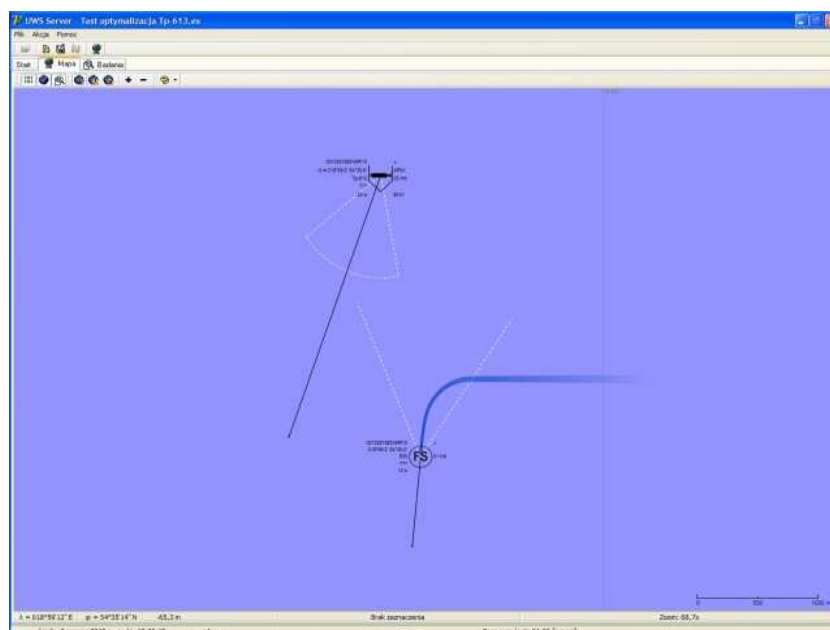
Rys.3. Ekran programu serwera – właściwości obiektów oraz konfiguracja symulacji

Program klienta przedstawia zobrazowanie sytuacji taktycznej w rejonie działań po stronie ćwiczącego realizację manewru obrony przeciwtorpedowej. Pozwala na wykonywanie manewrów jednostką nawodną w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa rażenia. Dodatkowo w trybie „nauki” pozwala na wyświetlanie informacji dotyczących rozkładu prawdopodobieństwa rażenia jednostki pływającej przez torpedę oraz wyświetlanie sugerowanego (optymalnego) kursu uchylecia przed zbliżającym się zagrożeniem.

W przypadku okrętów MW RP wyposażonych w techniczne środki obserwacji podwodnej oraz techniczne środki przeciwdziałania zagrożeniu podwodnemu, program umożliwia zobrazowanie sektorów obserwacji okrętowej stacji hydrolokacyjnej oraz sterowanie użyciem aktywnych środków przeciwdziałania – uzbrojeniem broni podwodnej.



Rys.4. Ekran programu klienta – zobrazowanie zagrożenia (torpedy), rozkładu prawdopodobieństwa rażenia celu oraz sugerowany manewr uchylenia



Rys.5. Ekran programu klienta – zobrazowanie torpedy i obiektu ataku po skutecznym manewrze uchylenia.

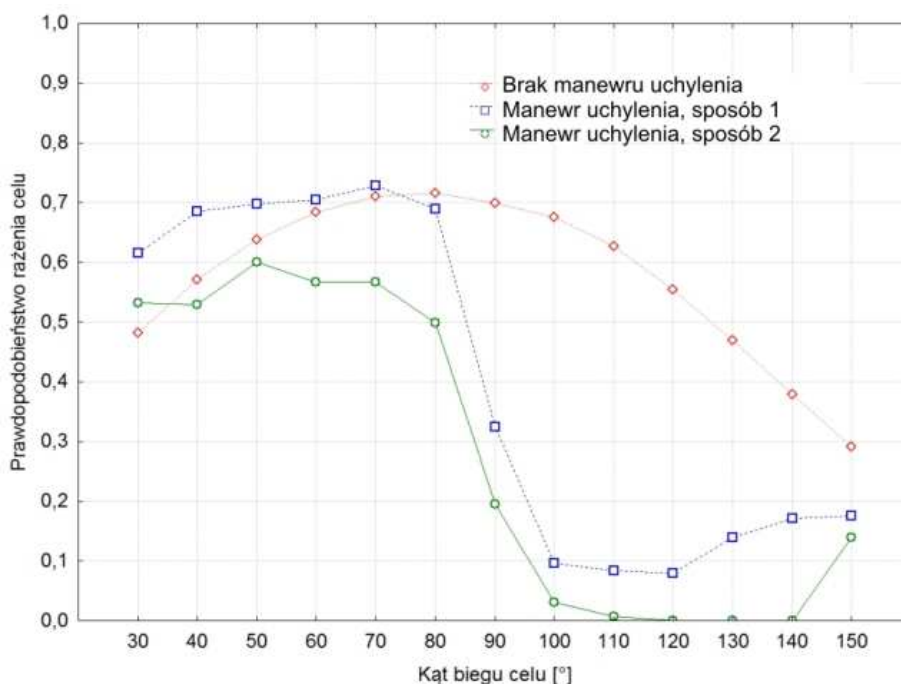


### 3. WYNIKI DZIAŁANIA APLIKACJI ORAZ WNIOSKI KOŃCOWE

Wykorzystanie aplikacji w trybie symulacji, na potrzeby szkolenia załóg jednostek pływających (oficerów wachtowych) polega na wykonaniu odpowiedniej liczby symulowanych scenariuszy obrony przeciwtorpedowej. Wyniki takich ćwiczeń pozwalają na poznanie, z jednej strony, sposobu działania uzbrojenia broni podwodnej stanowiącego zagrożenie bezpieczeństwa pływania jednostki nawodnej, z drugiej strony poznanie i ocenę skuteczności realizacji działań zmierzających do zapewnienia bezpieczeństwa jednostce w warunkach zagrożenia.

Poziom bezpieczeństwo jednostki pływającej będącej odwrotnością prawdopodobieństwa rażenia celu (dla jednostki atakującej) w tym przypadku będzie mierzony prawdopodobieństwem pomyślnej realizacji manewru uchylecia.

W tym kontekście można również optymalizować sposoby wykonywania manewru uchylecia dla danych sytuacji taktycznych czego przykładem może być wykres prawdopodobieństwa rażenia celu np. w funkcji kąta biegu celu (Rys.6.).



Rys.6. Wykresy zmian wartości prawdopodobieństwa rażenia celu torpedą prostoidącą w funkcji kąta biegu celu

Obrona przeciwtorpedowa opiera się obecnie głównie na wykorzystaniu różnego rodzaju technicznych środków przeciwdziałania. Współcześnie zarzucono praktycznie manewrowanie jednostką jako *stricte* środka obrony okrętów przed torpedami. Czy jest to zwykle zaniedbanie ze strony konstruktorów, pokładających zbyt dużą wiarę w możliwości

technicznych środków przeciwdziałania, czy też manewr uchylenia, którego zasady realizacji wywodzą się, w prostej linii, z doświadczeń uzyskanych w trakcie II wojny światowej, ma faktycznie niewielki wpływ na efektywność obrony przed współczesnymi torpedami wykorzystującymi zaawansowane metody naprowadzania?

Abstrahując od rozważań czysto militarnych, manewr uchylenia jest jedynym możliwym do zastosowania sposobem obrony przez jednostki nie posiadające środków przeciwdziałania (uzbrojenia), w tym jednostki cywilne.

Podstawowym czynnikiem warunkującym efektywność realizacji obrony przeciwtorpedowej jest odległość wykrycia zagrożenia.

Krytycznym parametrem warunkującym efektywność realizacji obrony przeciwtorpedowej jest ponadto czas reakcji, będący sumą składowych: czasu klasyfikacji celu (torpedy), czasu podjęcia decyzji o rozpoczęciu i schemacie realizacji obrony przeciwtorpedowej oraz czasu wykonania zwrotu na kurs uchylenia.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Projekt Nr ON526 002034, pt. „*Optymalizacja algorytmów manewrowania jednostką nawodną w warunkach zagrożenia podwodnego na potrzeby zwiększenia bezpieczeństwa pływania*“ pod kierownictwem dr. inż. Adama CICHOCKIEGO.
- [2] Jane's Fighting Ships 2008.
- [3] Frankowicz Z.: *Metody oceny efektywności bojowej taktycznego użycia okrętowych systemów torpedowych i bomb głębinowych znajdujących się na wyposażeniu Marynarki Wojennej*. Rozprawa habilitacyjna. WSMW, Gdynia 1975.
- [4] Komorowski A.: *Obrona przeciwtorpedowa okrętów*. Zeszyty Naukowe ASG, Warszawa, 1990, nr 2.