

ANALIZA ATAKU TORPEDY NAPROWADZAJĄCEJ SIĘ NA ŚLAD TOROWY

Poniższy artykuł przedstawia analizę ataku torpedy naprowadzającej się na ślad torowy. Analiza ta jest podstawą koncepcji budowy mobilnego systemu obronnego zarówno dla okrętów, jak i statków. W artykule został opisany mechanizm powstawania i utrzymywania się śladu torowego oraz przedstawiono analizę trajektorii atakującej torpedy.

1. Wstęp

Na świecie istnieje wiele typów torped do zwalczania okrętów nawodnych, które w różny sposób realizują zadanie poszukiwania i naprowadzania na cel. Torpedy z własnym układem samonaprowadzania (USN) poszukują celu w sposób aktywny bądź pasywny. Torpedy naprowadzające się na ślad torowy, chociaż wyposażone w układ samonaprowadzania, nie interesują się celem, jakim jest jednostka pływająca, lecz jej śladem torowym. Realizując zadanie poruszania się w śladzie torowym torpeda uderza w cel lub zadziała zapalnik zbliżeniowy. Na dzień dzisiejszy nie istnieje system obrony przed tego typu torpedami.

2. Analiza warunków powstawania i utrzymywania się śladu torowego w środowisku wodnym

Pojęcie śladu torowego

Pod pojęciem śladu torowego rozumiemy przypowierzchniową warstwę wody zaburzonej przez ruch jednostki nawodnej, a przede wszystkim przez obroty śrub okrętowych oraz turbulentny charakter opływu hydrodynamicznego kadłuba jednostki. Z obserwacji śladu torowego wynika, iż jego wielkość wzrasta przy wzroście prędkości okrętu oraz wraz ze zwiększaniem się wielkości jednostki, która nie ma jednak większego wpływu na samą strukturę śladu torowego (rys. 1). Fakt, że ślad torowy w szerokim znaczeniu tego słowa, wpływa na rozprzestrzenienie się dźwięku w wodzie, pozwala na stworzenie nowego pojęcia „akustyczny ślad torowy”. Pod tym pojęciem należy rozumieć zmienioną przejściem jednostki nawodnej objętość wody morskiej, w warstwie której, chociaż tymczasowo, wzrasta pochłanianie i rozpraszanie fal akustycznych. Z kolei zmiany temperatury w przypowierzchniowej warstwie wody, spowodowane przejściem jednostki nawodnej, doprowadziły do powstania tak zwanego „termicznego śladu torowego”, który można wykryć czułymi urządzeniami do rejestracji zmian temperatury lub kamerami na podczerwień. Wymiar, w jakim akustyczne i termiczne ślady torowe są zbieżne z tą

objętością wody, która była definiowana jako ślad torowy przy obserwacji wizualnej, oblicza się eksperymentalnie.



Rys. 1. Ślad torowy krążownika USS South Karolina (CGN-37)
(źródło: Donald C. Simpson)

Mechanizm kawitacji śrub

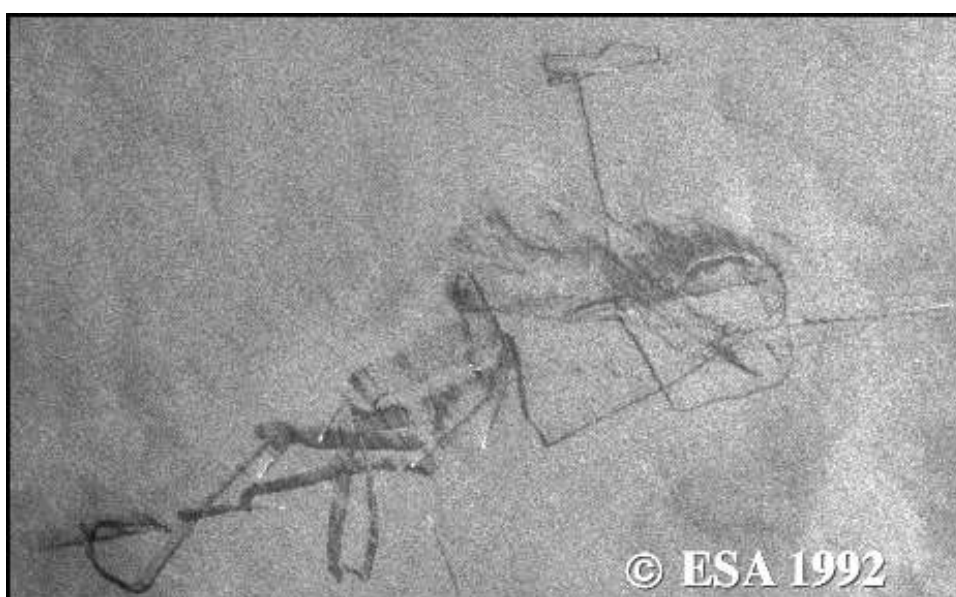
Zjawisko kawitacji polega na wytrącaniu się pęcherzyków gazu z wody. Przy dużych prędkościach obrotowych śruby okrętowej, tworzą się na niej miejsca o obniżonym i podwyższonym ciśnieniu. Takie rejony znajdują się zwłaszcza na końcach łopat, a także na ich tylnej stronie. Obniżone ciśnienie (tj. niższe od ciśnienia statycznego panującego na danej głębokości) oddziałuje na wodę jako siła rozciągająca. W momencie, gdy siła ta będzie większa od sił lepkości molekuł wody, następuje rozerwanie płynu i powstanie obszaru (ang. *cavity*), który wypełnia się gazem znajdującym się w wodzie i parą wodną. Jeżeli taki pęcherzyk gazu znajdzie się w obszarze podwyższonego ciśnienia, zaczyna zmniejszać swoją objętość. Gdy ciśnienie wywierane nań osiągnie wartość większą od jego granicy ściśliwości, następuje rozerwanie pęcherza, co powoduje (między innymi) wybite cząsteczek metalu z powierzchni śruby oraz powstanie impulsu dźwiękowego. Proces powstawania i rozrywania pęcherzy gazowych jest zjawiskiem ciągłym, wobec czego pracy śrub napędowych towarzyszy intensywny szum w szerokim paśmie częstotliwości.

W miarę zwiększania prędkości obrotowej śruby, pęcherze gazowe tworzą się najpierw na końcach łopat, skąd zrywają się i tworzą długi spiralny potok. Następnie pęcherze zaczynają pokrywać tylną stronę łopat, gdzie osiągają swego rodzaju szczyt. Proces ten nazywamy kawitacją laminarną w odróżnieniu od kawitacji krytycznej, przy której duże pęcherze powietrza powstają przy podstawie łopat i przy znacznie wyższych prędkościach. Fizycznie między laminarną a krytyczną kawitacją nie zachodzą różnice. Teoretyczne wywody potwierdzają fotografie zrobione szybkim aparatem fotograficznym przy oświetleniu światłem stroboskopowym (rys. 2).



Rys. 2. Powstawanie kawitacji laminarnej na obracającej się śrubie napędowej
(źródło: S. A. Kinnas)

Ślad torowy odgrywa ważną rolę w technice wojennej, a w szczególności, w uzbrojeniu morskim. Po pierwsze, pęcherze gazowe, jakie znajdują się w śladzie torowym, powodują rozpraszanie i pochłanianie fal dźwiękowych, co wpływa (m.in.) na pracę różnego rodzaju urządzeń wykorzystujących zjawisko propagacji fal akustycznych w morzu. Po drugie, to samo zjawisko rozpraszania i pochłaniania fal akustycznych, stwarza możliwości wykrycia śladu torowego, a co za tym idzie także jednostki, która go wytworzyła. Co więcej, możliwa jest również optyczna detekcja śladu torowego – na przykład wspomnianymi już wcześniej detektorami podczerwieni, radarami o syntetycznej aperturze (rys. 3) lub nawet za pomocą kamer światła dziennego z pokładu satelity (rys. 4).



Rys. 3. Satelitarny obraz śladu torowego uzyskany za pomocą radaru o syntetycznej aperturze
(źródło: European Space Agency)



Rys. 4. Obraz śladu torowego jednostki uzyskany za pomocą kamery z pokładu wahadłowca
(źródło: [Oceanography from the Space Shuttle](#))

Przeprowadzone prace badawcze nad śladem torowym były ukierunkowane na rozwiązanie dwóch problemów:

- Określenie charakterystycznych cech śladu torowego z punktu widzenia możliwości taktycznego użycia torped.
- Poznanie struktury śladu torowego i jego fizycznych właściwości.

Ze względu na fakt, iż nie zajmujemy się w tym opracowaniu fizyką w czystym wydaniu, skupmy się na zagadnieniu pierwszym.

Metodyka poszukiwania śladu torowego

Najprostszym sposobem akustycznego poszukiwania śladu torowego jest **szumonamierzanie** za pomocą szumonamiernika lub mechanicznego poszukiwacza szumów. Poszukiwanie takim urządzeniem charakterystycznych właściwości śladu, może odbywać się na słuch, a także za pomocą indykatora. Nie jest to jednak dobra metoda, ze względu na jej pasywność i małe właściwości kierunkowe.

W przypadku **echonamierzania** wykorzystujemy do poszukiwania śladu torowego impulsy dźwiękowe odbite od pęcherzy powietrznych zawartych w śladzie torowym. Poziom echosygnalów odbitych od śladu torowego może być wyrażony przez formułę:

$$10\lg I_U = 10\lg I_0 + T_{st} + 10\lg R_I(\alpha)_{odb} - 40\lg d - 2\beta d \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

gdzie:

I_U – minimalne natężenie echosygnalu użytecznego [W/m^2],

I_0 – natężenie fali akustycznej w odległości $r_0 = 1$ m od przetwornika nadawczego [W/m^2],

T_{st} - siła celu śladu torowego [dB],

$R_I(\alpha)_{odb}$ – bezwymiarowy współczynnik charakterystyki kierunkowości anteny odbiorczej w płaszczyźnie horyzontalnej,

d – odległość od śladu torowego do anteny nadawczej [m],

β – współczynnik tłumienia przestrzennego fali akustycznej [dB/km].

Pochłanianie dźwięku w śladzie torowym

Współczynnik pochłaniania fal akustycznych dla śladu torowego określonej jednostki, może być opisany za pomocą zależności (2).

$$\beta_{st} = K_e \cdot l \quad (2)$$

gdzie:

K_e - współczynnik zanikania dźwięku [dB/m],
 l - długość drogi fal dźwiękowych w śladzie torowym [m].

Współczynnik zanikania (K_e) określa się całkowitą koncentracją pęcherzy powietrza o rozmiarach rezonansowych (R_r):

$$K_e = 1,54 \cdot 10^5 u(R_r) \quad (3)$$

gdzie:

$u(R_r)$ – część powietrza zawartego w 1 cm³ śladu torowego w pęcherzach o promieniach rezonansowych.

Dla przykładu, w śladach torowych od stawiaczy min na odległościach poniżej 450 m od okrętu, współczynnik zanikania w kierunku poziomym, na częstotliwości 20 kHz, wynosi około 1 dB/m. Dla dźwięku, który przeszedł dwa razy przez ślad torowy, współczynnik zanikania określa się:

$$K_e = \frac{H_w}{2 \cdot l} \quad (4)$$

gdzie:

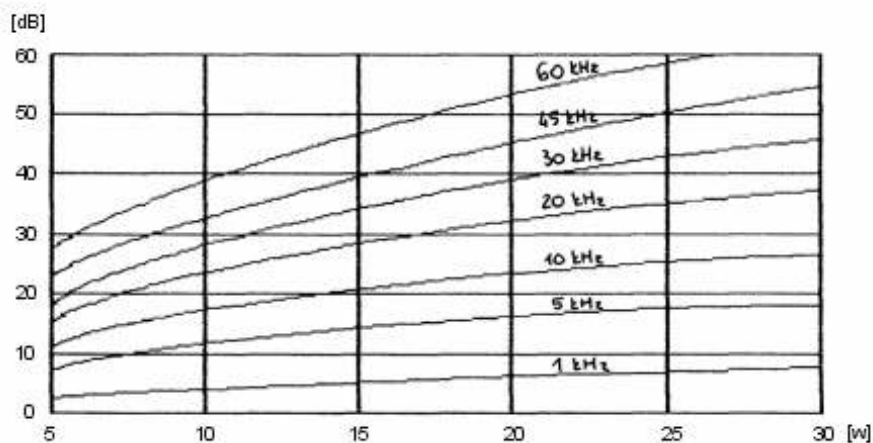
H_w - osłabienie dźwięku przy dwukrotnym przejściu przez ślad torowy.

W tym przypadku wartość (K_e) okazuje się być równa (na częstotliwości 20 kHz) około 3,3 dB/m. Osłabienie dźwięku przy rozprzestrzenieniu jego w kierunku poziomym prostopadle do osi śladu na głębokości 3 m od powierzchni określa się z empirycznej zależności przedstawionej poniżej:

$$H_w = 1,5 \cdot \sqrt{v \cdot f} - 3t \quad (5)$$

gdzie:

f - częstotliwość [kHz],
 v - prędkość okrętu [w],
 t - czas utrzymywania się śladu torowego [min].



Rys. 5. Osłabienie dźwięku przy przechodzeniu przez ślad torowy w funkcji prędkości jednostki i częstotliwości roboczej

Geometria śladu torowego

Na rys. 6 przedstawiono geometrię śladu torowego w płaszczyźnie poziomej. Bezpośrednio za rufą jednostki, kąt rozejścia się strugi śladu torowego wynosi kilkadziesiąt stopni. Na odległości (B_1) od rufy, kąt ten ostro maleje i dalej nie przekracza wartości 1° (widać to doskonale na rys. 1). Odległość (B_1) zależy od prędkości okrętu (V_k).

Wielkość (W_r) wyraża szerokość śladu torowego bezpośrednio za rufą jednostki. Można ją oszacować z empirycznej zależności:

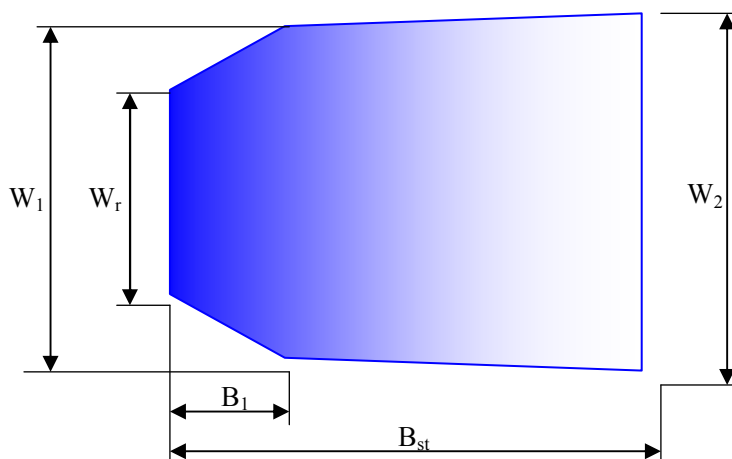
$$W_r = 0,02 \cdot V_k \cdot B_k \quad (6)$$

gdzie:

W_r – szerokość śladu torowego za rufą jednostki [m],

V_k – prędkość jednostki [w],

B_k – szerokość jednostki na orężu [m].



Rys. 6. Geometria śladu torowego w płaszczyźnie poziomej

Odległość (B_1) wyrażającą odległość przegięcia śladu torowego, najlepiej oszacować jest z wyników badań rzeczywistych. W tab. 1 przedstawiono wyniki uzyskane podczas badań śladu torowego dla okrętu klasy niszczyciel.

Tab. 1. Wartości długości odcinka (B_1) strugi śladu torowego dla okrętu klasy niszczyciel

V_k [w]	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
B_1 [m]	7,5	10	12,5	15,5	19	25	35,5	52,5	64	72	77,5	81,5	84

Źródło: Janik J.: Badanie trajektorii torpedy 53-65 KE, AMW, Gdynia, 1994.

Powyższe wartości przedstawia rys. 7, będący odwzorowaniem graficznym tab. 1. Na wykresie widać wyraźnie, że do prędkości 16 w, wielkość odcinka (B_1) śladu torowego wzrasta wprost proporcjonalnie do zwiększania prędkości jednostki. Powyżej tej prędkości, następuje szybkie poszerzanie się śladu torowego, aż do wartości maksymalnych. Z punktu widzenia użycia uzbrojenia torpedowego, najbezpieczniejszymi, a zarazem zapewniającymi odpowiednie właściwości manewrowe jednostce, będą prędkości w granicach 16 węzłów.

Wartości szerokości (W_1) oraz (W_2) są wyrażane w funkcji długości odcinka przegięcia śladu torowego:

$$W_1 = 0,85 \cdot B_1 \quad (7)$$

oraz

$$W_2 = W_1 + 0,017(B_{st} - B_1) \quad (8)$$

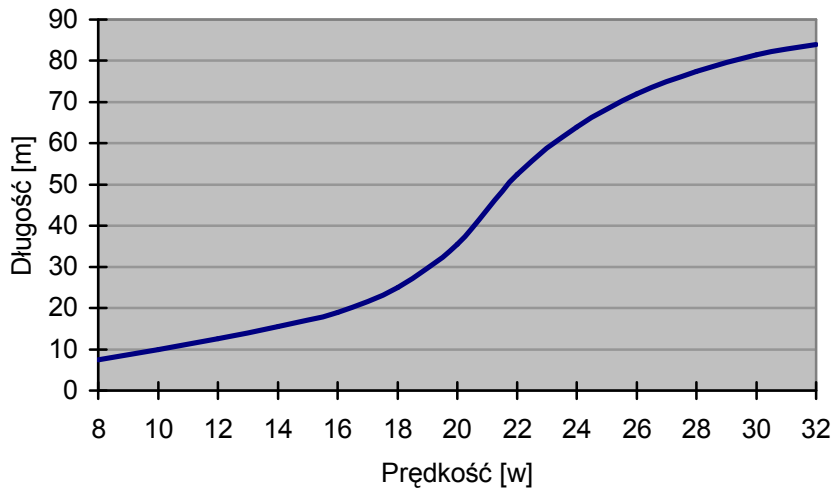
gdzie:

W_1, W_2 – szerokości strugi śladu torowego zgodnie z rys. 6 [m],
 B_{st} – długość użyteczna śladu torowego [m]:

$$B_{st} = T_{st} \cdot V_k \quad (9)$$

gdzie:

T_{st} – użyteczny czas utrzymywania się śladu torowego [s].



Rys. 7. Wartości długości odcinka (B_1) strugi śladu torowego dla okrętu klasy niszczyciel

Wartość (T_{st}) użytecznego czasu utrzymania się śladu torowego zależy wprost od technicznych możliwości układu samonaprowadzania torped, głównie od czułości, niezbędnego stosunku sygnał/szum, częstotliwości pracy, długości impulsu, założonego współczynnika rozpoznania, itd. Dla konkretnego przypadku torpedy 53-65 KE, system kierowania strzelaniem przyjmuje ($T_{st} = 180$ s) i dla takiej wartości rozwiązywane jest zadanie strzelania torpedy w punkt wyprzedzony.

3. Analiza trajektorii torped naprowadzających się na ślad torowy

Pierwszą, seryjnie produkowaną torpedą, w której zastosowano układ samonaprowadzania na ślad torowy była, wspomniana wyżej, rosyjska 53-65KE o kalibrze 533 mm z końca lat 60-tych. Kilka lat później powstała amerykańska Mk 45F (*Freedom Torpedo*) o kalibrze 482 mm. Od tamtego czasu nie produkowano w państwach NATO torped z USN tego typu. Z kolei w Rosji, jak wynika z niepotwierdzonych danych, skonstruowano w latach 90-tych torpedę TEST-96 posiadającą zarówno akustyczny USN, jak również układ naprowadzania na ślad torowy.

W świetle zalet tej metody naprowadzania wydaje się co najmniej dziwnym, iż nie wykorzystuje się jej szerzej w dzisiejszych konstrukcjach torped. Być może stan ten ulegnie niedługo zmianie. Z niesprawdzonych, lecz szeroko reklamowanych danych najnowszej włoskiej torpedy o nazwie „*Black Shark*”, będącej wciąż w fazie projektowania, wynika, iż posiadać będzie ona układ naprowadzania na ślad torowy, chociaż, podobnie jak w wyżej wspomnianej, rosyjskiej TEST-96, równolegle wykorzystywać będzie typowy, akustyczny układ samonaprowadzania.

Naprowadzanie się torpedy na ślad torowy, składa się z elementów ruchu wewnątrz śladu torowego i cyrkulacji wykonywanej na zewnątrz śladu torowego w stronę okrętu-celu.

Krzywa ruchu torpedy w tym przypadku składa się z:

- Odcinka zbliżenia – jest to część toru torpedy od momentu wyjścia z wyrzutni do uzyskania przez aparaturę gotowości bojowej.
- Odcinka poszukiwania - części toru od momentu uzyskania przez aparaturę gotowości bojowej do momentu akustycznego kontaktu ze śladem torowym.
- Odcinka naprowadzania - części toru od pierwszego kontaktu ze śladem torowym do momentu przejścia torpedy pod okrętem-celem.
- Odcinka powtórnego poszukiwania - części toru od momentu utraty akustycznego kontaktu do ponownego nawiązania kontaktu ze śladem torowym okrętu-celu.

Na odcinku zbliżenia torpeda wykonuje kolejno dwie automatyczne regulacje aparatury samonaprowadzania, polegająca na:

- Ustaleniu wielkości i dostrojeniu się do pogłosu (rewerberacji) - regulacja amplitudowa (RA).
- Regulacji w stosunku do powierzchni morza - regulacja całkowita (RI).

W czasie regulacji amplitudowej, kanał odbiorczy aparatury USN rejestruje sygnał pogłosu (rewerberacji), w wyniku czego następuje automatyczne zmniejszenie czułości wzmacnienia, co w procesie samonaprowadzania się torpedy zabezpiecza ją przed wszelkiego typu zakłóceniami.

W trakcie regulacji całkowitej, działanie wykonawczej części urządzenia wzmacniającego, uruchamiane przez sygnały odbite od powierzchni morza, powoduje automatyczne zmniejszanie czułości aż do momentu progowego przerwania jego działania. Po każdej regulacji aparatura samonaprowadzania dodatkowo zmniejsza czułość (po zakończeniu regulacji amplitudowej - trzykrotnie, a po regulacji całkowitej - dwukrotnie).

Obie regulacje przebiegają w czasie kilkunastu sekund, a po ich zakończeniu aparatura samonaprowadzania jest gotowa do wykrycia śladu torowego.

Na odcinku poszukiwania torpeda porusza się prostoliniowo kierowana przyrządem kursu aż do chwili nawiązania akustycznego kontaktu ze śladem torowym okrętu-celu. W celu zapewnienia wiarygodności i dokładności trafienia torpedy na ślad torowy okrętu-celu, komenda wykonawcza wypracowana zostaje tylko wtedy, gdy z czterech kolejno wysłanych sygnałów odbierze trzy kolejno po sobie następujące sygnały odbite od śladu torowego. Komenda wykonawcza zostaje zdjęta w razie braku trzech sygnałów z czterech kolejno wysłanych.

Ze względu na fakt, iż układ samonaprowadzania torpedy nie potrafi samodzielnie określić strony ruchu okrętu-celu, kierunek pierwszej cyrkulacji po przecięciu śladu torowego ustawia się przed strzałem na przyrządzie kursu. Od momentu nawiązania kontaktu akustycznego ze śladem torowym okrętu-celu aż do momentu wyjścia ze śladu torowego torpeda porusza się prostoliniowo.

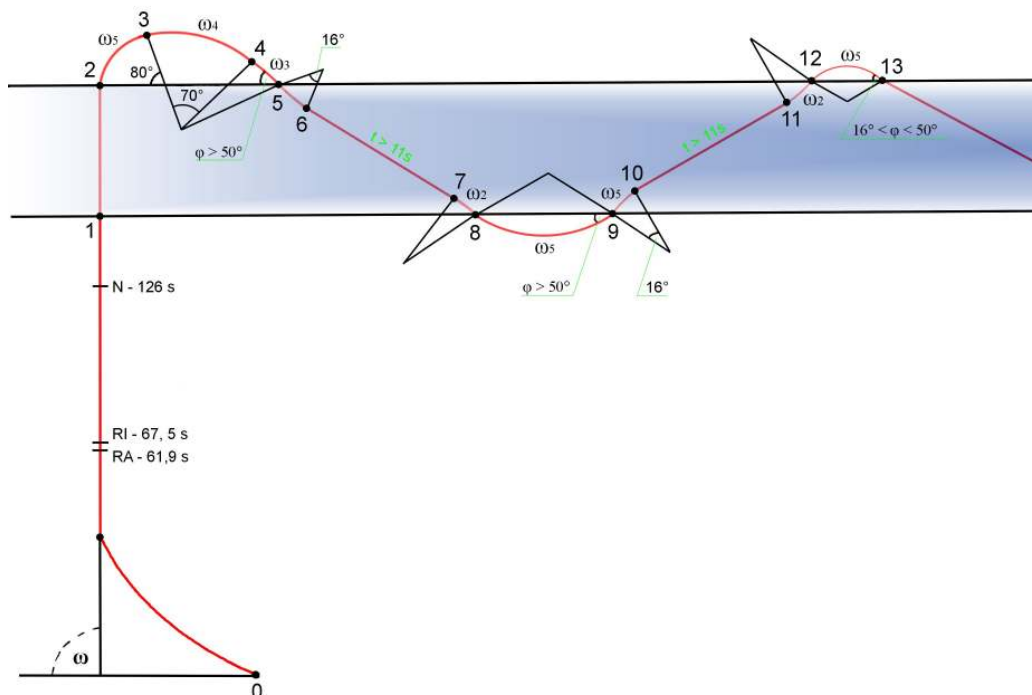
Naprowadzenie się torpedy na okręt-cel odbywa się po jego śladzie torowym. W celu zapewnienia maksymalnej dokładności porażenia celu przy minimalnej utracie prędkości dochodzenia do niego, komendy wydawane na stery mają zapewnić optymalny kąt przecięcia śladu torowego (w przybliżeniu 30°). Stabilizację

tego kąta uzyskuje się poprzez wielkość promienia cyrkulacji (prędkości cyrkulacji) i tak:

- Przy zwrocie o kąt do 80° , promień cyrkulacji równy jest (r), a prędkość kątowa (ω_5).
- Od 80° do 150° , promień cyrkulacji równy jest $1,5 r$, natomiast prędkość kątowa (ω_4).
- Od 150° do wyjścia ze śladu torowego, promień cyrkulacji równy jest $2 r$, a prędkość kątowa (ω_3).

gdzie:

r - minimalny promień cyrkulacji torpedy w płaszczyźnie poziomej.

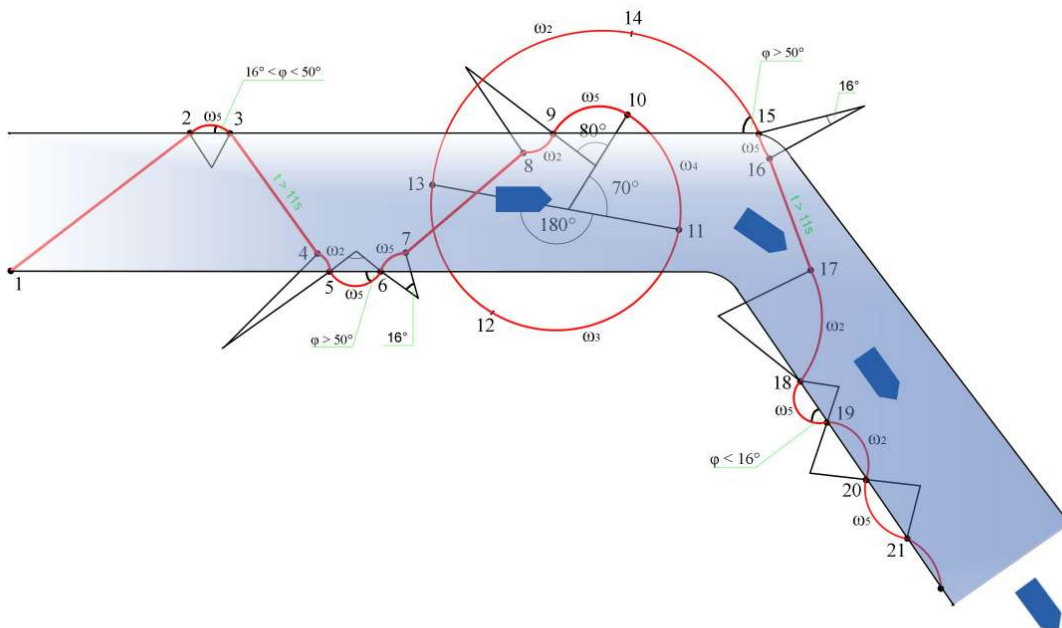


Rys. 8. Trajektoria naprowadzania się torpedy na ślad torowy

Ruch torpedy we wnętrzu śladu torowego zależy od kąta wejścia. Jeżeli kąt wejścia jest mniejszy od 16° , to torpeda po wejściu wykonuje zwrot o promieniu $2,5 r$ w stronę przeciwną aż do momentu wyjścia ze śladu i dalej naprowadzanie odbywać się będzie po krawędzi śladu torowego.

Jeżeli kąt wejścia torpedy w ślad torowy jest większy od 16° a mniejszy od 50° , to torpeda po wejściu w ślad torowy porusza się po stycznej.

Jeżeli kąt wejścia w ślad torowy jest większy od 50° , to torpeda wchodząc weń wykonuje cyrkulację w drugą stronę promieniem (r) o kąt 16° i dalej porusza się po stycznej.



Rys. 9. Trajektoria naprowadzania się torpedy na ślad torowy – powtórne poszukiwanie

W celu zabezpieczenia przed wykonaniem zwrotu przez wychodzącą ze śladu torpedę w stronę przeciwną niż manewrujący okręt-cel, aparatura dokonuje obliczenia czasu przebywania torpedy wewnątrz śladu torowego. Po upływie 11 s od chwili wejścia w ślad zostaje przekazany sygnał do wykonania zwrotu o promieniu 2,5 r w kierunku wejścia torpedy w ten ślad. Cyrkulacja trwa do momentu opuszczenia śladu, a następnie torpeda wykonuje zwrot o promieniu (r) w stronę przeciwną.

Na rys. 8 przedstawiono powyższy schemat naprowadzania się torpedy w formie graficznej, natomiast na rys. 9 pokazano przykładowe poruszanie się torpedy w śladzie torowym przy powtórznym poszukiwaniu celu. W przypadku utraty kontaktu akustycznego ze śladem torowym lub w razie niezadziałania detonatora, torpeda wykonuje powtórne poszukiwanie, które odbywa się z cyrkulacją:

- Do kąta 80° – (r) – prędkość kątowna (ω_5).
- Od 80° do 150° – $1,5 r$ – prędkość kątowna (ω_4).
- Od 150° do 330° – $2 r$ – prędkość kątowna (ω_3).
- Od 330° do ponownego nawiązania kontaktu akustycznego ze śladem torowym – $2,5 r$ – prędkość kątowna (ω_2).

Zgodnie z rys. 9, wyróżnić można w tym przypadku następujące etapy ruchu torpedy:

- Odcinek 1 (pkt 1, 2) – poruszanie się po prostej w śladzie torowym.
- Odcinek 2 (pkt 2, 3) – wykonanie zwrotu promieniem (r) w prawo aż do ponownego wejścia w ślad torowy pod kątem większym od 16° i mniejszym od 50° .
- Odcinek 3 (pkt 3, 4) – poruszanie się po stycznej.
- Odcinek 4 (pkt 4, 5) – zwrot w prawo promieniem $2,5 r$ do wyjścia ze śladu torowego.
- Odcinek 5 (pkt 5, 6) – zwrot w lewo promieniem (r) do ponownego wejścia w

- ślad torowy pod kątem większym od 50° .
- Odcinek 6 (pkt 6, 7) – zwrot w prawo promieniem (r) o kąt 16° wewnątrz śladu torowego.
 - Odcinek 7 (pkt 7, 8) – poruszanie się torpedy po stycznej wewnątrz śladu torowego, przejście pod okrętem-celem i zgubienie kontaktu ze śladem torowym.
 - Odcinek 8 (pkt 8, 9) – zwrot w lewo promieniem $2,5 r$ do wyjścia ze śladu torowego.
 - Odcinek 9 (pkt 9, 10) – cyrkulacja o promieniu (r) w prawo o kąt do 80° .
 - Odcinek 10 (pkt 10, 11) – zacieśnienie cyrkulacji - promień $1,5 r$ o kąt do 70° .
 - Odcinek 11 (pkt 11÷13) – dalsze zacieśnienie cyrkulacji - promień $2 r$ o kąt do 180° .
 - Punkt 12 – kąt cyrkulacji 270° - wyłączenie kanału poszukiwania śladu torowego aparatury samonaprowadzania w celu zabezpieczenia przed naprowadzeniem się na własny ślad torowy i wykonaniem zwrotu w stronę przeciwną niż kierunek poruszania się okrętu-celu.
 - Odcinek 12 (pkt 13÷15) – kolejne zacieśnienie cyrkulacji - promień $2,5 r$ do uzyskania ponownego kontaktu ze śladem torowym.
 - Punkt 14 – kąt cyrkulacji 420° - ponowne włączenie kanału poszukiwania śladu torowego aparatury USN.

Po nawiązaniu ponownego kontaktu ze śladem torowym torpeda naprowadza się na cel wg programu opisanego wcześniej w zależności od wielkości kąta pierwszego wejścia w ślad torowy.

W wypadku powstania przerw ciągłości śladu i wejścia torpedy w taką lukę, aparatura traktuje to jak wyjście ze śladu torowego i przekazuje komendy do wykonania odpowiedniego zwrotu. Jeżeli kąt cyrkulacji w luce śladu jest mniejszy niż 16° i następuje ponowne spotkanie śladu torowego, to torpeda wykonuje zwrot o promieniu $2,5 r$ w przeciwną stronę aż do wyjścia ze śladu. Po wyjściu z niego torpeda wykonuje zwrot w stronę poruszania się okrętu-celu aż do spotkania śladu. Jeżeli kąt cyrkulacji w luce śladu jest większy niż 16° i następuje ponowne spotkanie śladu, to aparatura odbiera je jak nowe przecięcie śladu torowego i proces naprowadzania rozpoczyna się od początku.

4. Wnioski

1. Akustyczny ślad torowy użyteczny dla USN torped naprowadzających się na ślad torowy powstaje za okrętem nawodnym, którego prędkość jest równa lub większa od prędkości krytycznej, przy której zaczyna pojawiać się zjawisko kawitacji na śrubach okrętowych.
2. Doświadczalnie ustalono, że USN torped jest w stanie wykryć ślad torowy okrętu nawodnego, którego prędkość ruchu jest równa lub większa od $8 w$.
3. Przy wietrznej pogodzie, kiedy na morzu pojawiają się fale z białą pianą na swych grzbietach, znacznie wzrasta poziom rewerberacji powierzchniowej i objętościowej. Poziom rewerberacji morza ma wpływ na dokładność określenia granic akustycznego śladu torowego przez USN torped naprowadzających się na ślad torowy, a tym samym na jej trajektorię.

4. Droga torpedy na odcinku samonaprowadzania w śladzie torowym jest uwzględniana przez przyrządy kierowania strzelaniem w przypadku, jeżeli okręt-cel porusza się z prędkością większą niż 12 w.
5. Stabilizację optymalnego kąta wejścia i wyjścia torpedy ze śladu torowego zapewnia układ logiczny poprzez zmianę wielkości promienia (prędkość kątowej) cyrkulacji.
6. Istotnym elementem dla procesu wykrycia akustycznego śladu torowego przez USN torpedy jest automatyczna regulacja kanału odbiorczego. Umożliwia to ustawienie progu zadziałania (wykrycia) w zależności od poziomu rewerberacji morza.
7. Rzeczywista droga torpedy na odcinku samonaprowadzania zależy (m.in.) od kąta spotkania torpedy ze śladem torowym. Wraz ze wzrostem kąta spotkania, droga torpedy rośnie.