

Stanisław GUCMA<sup>1</sup>

### **WYMAGANE PARAMETRY PODEJŚCIOWYCH TORÓW WODNYCH DO PORTU ŚWINOUJSCIE W ASPEKTCIE PLANOWANYCH INWESTYCJI**

*W referacie określono bezpieczne głębokości i szerokości podejściowych torów wodnych do portu Świnoujście. Są to parametry, które umożliwią realizację planowanych inwestycji portu Świnoujście.*

### **REQUIRED PARAMETERS FOR ENTRANCE WATERWAYS TO SWINOUJSCIE PORT IN ASPECT OF PLANNED INVESTMENTS**

*In article safe parameters for depths and widths of Swinoujście waterways has been presented. Optimization of this values will allow to modernize port of Swinoujście in aspect of planned investments*

#### **1. WPROWADZENIE**

Port Świnoujście położony jest w ujściu Cieśniny Świny do Zatoki Pomorskiej współrzędne geograficzne którego odpowiednio wynoszą  $\varphi$  53°55,0'N i  $\lambda$  14°17,0'E. Przez port przechodzi tor wodny do portu Szczecin. Port jest bazą przeładunkową towarów masowych, kontenerów i drobnicy. W porcie umiejscowiona jest duża baza promów morskich (połączenia ze Szwecją i Danią). Do portu mogą być wprowadzane statki o maksymalnej długości 270 m i zanurzeniu 13,2 m. Port obejmuje akwen Cieśniny Świna od ujścia aż do Basenu Barkowego w Karsiborze oraz tereny i akweny przyległe. Wejście osłaniają dwa falochrony: wschodni – długości 1400 m i zachodni – długości około 300 m. W porcie znajdują się trzy obrotnice – Północna (średnica 370 m), Południowa (średnica 320 m) oraz Mielińska (średnica 420 m).

Do portu w Świnoujściu prowadzi droga wodna przechodząca przez Zatokę Pomorską. Z punktu widzenia warunków batymetrycznych drogę wodną prowadzącą do portu w Świnoujściu można podzielić na następujące części (Rys. 1):

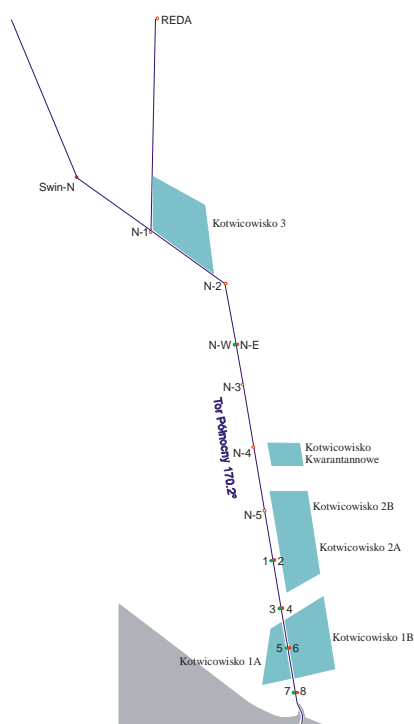
1. Podejściowe tory wodne do pławy N-1:

- Zachodni tor podejściowy do pławy N-1 (poprzez ŚWIN-N) przechodzący przez morze terytorialne Niemiec na wschód od Rugii. Naturalna minimalna głębokość akwenu, przez który przechodzi zachodni tor podejściowy wynosi 16,0 m (minimalna głębokość 15,1 m).

<sup>1</sup>Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny; 70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1/2.  
Tel: +48 91 48-09-501, 48-09-426, E-mail: s.gucma@am.szczecin.pl

- Północny tor podejściowy do pławy REDA. Naturalne głębokości przez który przechodzi północny tor podejściowy od pławy REDA do kotwiczowiska Nr 3 to 13 m ÷ 14 m (minimalna głębokość wynosi 11,0 m). Na północ od pławy REDA naturalne głębokości stopniowo rosną od 14 m do 20 m.
2. Północna część Toru Północnego prowadząca od pławy N-1 (43,175 km) do N-2 i dalej do pary pław 1-2 (12,4 km). Minimalną jego głębokość 14,4 m przy szerokości 180 m zapewniają w dużym stopniu naturalne głębokości akwenu z wyjątkiem odcinka (27,8 km ÷ 31,4 km) położonego na północ od pławy N-3, który jest pogłębionym torem wodnym.
  3. Południowa część Toru Północnego przechodząca Zatokę Pomorską od pary pław 1-2 (12,4 km) do wschodniej główki portu Świnoujście (0,0 km). Jest to pogłębiony tor wodny, którego minimalna głębokość wynosi 14,3 m przy szerokości 180 m.

Minimalna głębokość (14,3 m) i szerokość torów wodnych podana powyżej jest utrzymywana zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 09.12.2002 r. Minimalne głębokości na odcinkach 2 i 3 ustalono w oparciu o sondáže wykonane 15.03.2004 roku.



Rys. 1. Tory podejściowe do Świnoujścia z zaznaczonymi kotwiczowiskami

Budowa portu Zewnętrznego w Świnoujściu (Terminal LNG) wymaga poszerzenia Toru Północnego do 200 m i jego pogłębienia do 14,5 m [1].

Podejściowy tor wodny oznakowany jest pławami. Przez końcowy odcinek toru prowadzi obustronnie oznakowany pogłębiony do 14,3 m kanał, którego oś wyznacza nabeżnik świetlny MŁYNY-GALERIOWA (170,2°). Podejście wschodnie (242°) prowadzi od świetlnej pławy na północnej krawędzi spłylenia, na północ od latarni morskiej KIKUT, do bramki utworzonej przez pławy świetlne „4” i „3”. Stąd do wejścia portowego w linii nabeżnika świetlnego MŁYNY-GALERIOWA (170,2°) przez obustronnie oznakowany kanał. Kotwicowiska przy torze wodnym pokazane są na rys. 1.

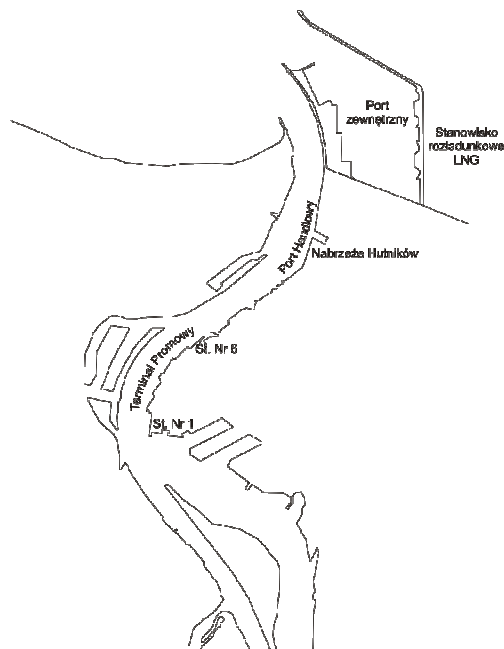
## **2. PORT ŚWINOUJŚCIE – PROWADZONE INWESTYCJE I PRACE PROJEKTOWE**

Port Świnoujście położony jest w północnej części Cieśniny Świny. Należy ona do Estuarium Odry i jest obszarem skomplikowanym pod względem sieci hydrologicznej oraz występujących zjawisk hydrodynamicznych. Tworzy je: rozgałęziony odcinek dolnego biegu Odry, Zalew Szczeciński; trzy cieśniny: Dziwna, Świna, Piana oraz część Zatoki Pomorskiej (przylegająca do ujść cieśnin). Przepływy w Cieśninie Świny zależą od zmian stanów wody w Zatoce Pomorskiej i Zalewie Szczecińskim oraz oddziaływania wiatru. Przepływy te generalnie mają charakter nieustalony i generują one prądy wejściowe jak i prądy wyjściowe o maksymalnych prędkościach do 3 węzłów.

Istniejący układ przestrzenny portu Świnoujście i jego lokalizacja w ujściu Świny ogranicza działalność inżynierską człowieka mającą na celu poszerzenie lub pogłębienie ujściowego odcinka Świny. Takie działania spowodowałyby zwiększenie przepływów i prędkości prądów oraz degradację środowiska naturalnego Estuarium Odry.

Ograniczeniem portu handlowego w Świnoujściu jest lokalizacja jego nabrzeży przeładunkowych wzdłuż toru wodnego prowadzącego do portu Szczecin. Intensywność ruchu na tym torze wodnym wynosi około 10 000 statków na rok. Z powyższych względów obecne ograniczenia istniejącego portu Świnoujście można określić następująco:

- „maksymalnym statkiem” bezpiecznie manewrującym w Porcie Handlowym w Świnoujściu jest masowiec o parametrach: długość 270 m, zanurzenie 13,2 m;
- „maksymalnym statkiem” obsługiwanym w Terminalu Promowym w Świnoujściu jest RO-PAX o parametrach: długość 200 m, zanurzenie 7,0 m;
- ze względu na ruch wzdłużny i silne prądy istnieje tu duże ryzyko lokalizacji terminali przeładunkowych ładunków niebezpiecznych (np. LNG, LPG, paliwa itp.);
- ze względu na silne prądy brak jest tu możliwości lokalizacji miejsc schronienia.



Rys. 2. Lokalizacja prowadzonych inwestycji w porcie Świnoujście

Biorąc pod uwagę powyższe ograniczenia w porcie Świnoujście prowadzone są następujące inwestycje i prace projektowe:

**Port Handlowy w Świnoujściu** – zmiana przeznaczenia nabrzeża Hutników z masowego na kontenerowe oraz powiększanie Obrotnicy Północnej (Rys. 2). Zakończenie inwestycji planowane jest w 2014 roku. „Maksymalnymi statkami” w Porcie Handlowym Świnoujście będą wówczas:

- masowiec: długość 270 m, zanurzenie 13,5 m;
- kontenerowiec: długość 275 m, zanurzenie 13,5 m.

**Terminal Promowy w Świnoujściu** – budowa nowego stanowiska Nr 1 i przebudowa stanowiska Nr 6 (Rys. 2). Zakończenie inwestycji planowane jest w 2013 roku. „Maksymalnym statkiem” będzie tam wówczas:

- RO-PAX: długość 230 m, zanurzenie 10 m.

**Port Zewnętrzny w Świnoujściu** – budowa terminalu LNG (Rys. 2). Zakończenie inwestycji planowane jest w 2014 roku. „Maksymalnym statkiem” w Porcie Zewnętrznym będzie wówczas:

- Gazowiec LNG (Q-flex): długość 315 m, zanurzenie 12,5 m;

W perspektywie do 2020 roku rozważana jest koncepcja budowy w Porcie Zewnętrznym w Świnoujściu (Rys. 2) dwóch nabrzeży RO-RO lub innego typu mogących obsługiwać statki o długości 300 m i zanurzeniu 14,5 m.

### 3. „STATKI MAKSYMALNE” PODEJŚCIOWYCH TORÓW WODNYCH DO PORTU ŚWINOUJŚCIE

Na bezpieczeństwo nawigacji mają wpływ wielkości i właściwości statku. Parametry te wyznacza „statek maksymalny”, definiowany jako największy statek, który przy założonych warunkach nawigacyjnych może bezpiecznie manewrować (wykonywać określony manewr) na badanym akwenu (terminalu lub basenie portowym). Z punktu widzenia pojęcia „statek maksymalny” wystarczy gdy jeden z parametrów osiąga wartość maksymalną [2].

Analizując parametry „statków maksymalnych” Portu Handlowego, Terminalu Promowego i Portu Zewnętrznego w Świnoujściu (terminal LNG) zdefiniowano „statki charakterystyczne” portu Świnoujście, które muszą mieć zapewnione bezpieczne warunki na podejściowym torze wodnym w 2014 roku.

Bezpieczne parametry toru wodnego zależą od:

- parametrów „statków charakterystycznych” przewidzianych do eksploatacji na tym torze takich jak:
  - długość całkowita,
  - długość między pionami,
  - szerokość,
  - zanurzenie maksymalne,
  - współczynnik pełnotliwości kadłuba;
- warunków eksploatacji „statków charakterystycznych” takich jak:
  - dopuszczalna prędkość na torze wodnym,
  - dopuszczalne warunki hydrometeorologiczne.

Kształty i rozmiary poszczególnych typów statków uwarunkowane są przeznaczeniem oraz warunkami ich eksploatacji. Na podstawie analizy kontenerowców oraz masowców będących w eksploatacji na świecie i mogących realnie zawijać do portu Świnoujście, określone zostały parametry „statków charakterystycznych” dla podejściowego toru wodnego do Portu Świnoujście (Tabela 1).

Ze względu na aktualne głębokości akwenu niektóre parametry statków zostały ograniczone. Dla masowca 13,5 m nie jest zanurzeniem maksymalnym.

Na akwenach ograniczonych statki poruszają się z różnymi prędkościami, które zależą od rodzaju akwenu i typu statku. Prędkości te z jednej strony dyktowane są względami eksploatacyjnymi wynikającymi z ograniczeń czasowych takich statków jak kontenerowce, ro-ro, gazowce, z drugiej strony względami bezpieczeństwa nawigacji. Zazwyczaj jest to „prędkość eksploatacyjna na akwenach ograniczonych”, którą poruszają się statki na dalekich redach i podejściach do kotwicowisk lub „prędkość zredukowana” stosowana na pogłębionych torach wodnych. Prędkość eksploatacyjna dla akwenów ograniczonych nie jest maksymalną prędkością statku lecz jest to prędkość osiągnięta przy nastawie maszyny „cała naprzód – manewrowa”. Prędkość zredukowana natomiast stosowana jest na podejściowych torach wodnych i osiągnięta jest przy nastawie maszyny „pół naprzód”.

Tab. 1. Parametry „statków charakterystycznych” podejściowego toru wodnego do portu Świnoujście w 2014 roku

Lp.	Typ statku	Długość maksymalna LOA [m]	Długość między pionami L <sub>PP</sub> [m]	Szerokość B [m]	Zanurzenie eksploatacyjne T [m]	Spółczynnik pełności kadłuba C <sub>b</sub>	Prędkość eksploatacyjna dla akwenów ograniczonych [węzły]	Prędkość zredukowana [węzły]
1.	Masowiec	270	255	43	13,5	0,82	15,0	10,0
2.	Kontenerowiec	274	260	41,5	13,5	0,62	18,5	15,0
3.	Gazowiec LNG	315	304	50	12,5	0,75	16,0	10,0

Bezpieczne wykonanie określonego manewru na akwenach ograniczonych wiąże się ze spełnieniem podstawowego warunku bezpieczeństwa nawigacji, który można zapisać w następującej postaci [4]:

$$\left. \begin{array}{l} \bigwedge_{p(x, y) \in \mathbf{D}(t)} d_{ijk} (1 - \alpha) \subset \mathbf{D}(t) \\ h(x, y, t) \geq T(x, y, t) + \Delta(x, y, t) \end{array} \right\}$$

gdzie:  $\mathbf{D}(t)$  – dostępny akwen żeglugowy (spełniony warunek bezpiecznej głębokości w momencie  $t$ ),

$d_{ijk}(1 - \alpha)$  – bezpieczny akwen manewrowy na poziomie ufności  $1 - \alpha$ .

$h(x, y, t)$  – głębokość akwenu w punkcie o współrzędnych  $(x, y)$  w momencie  $t$ ,

$T(x, y, t)$  – zanurzenie statku w punkcie akwenu  $(x, y)$  w momencie  $t$ ,

$\Delta(x, y, t)$  – rezerwa wody pod stępką w punkcie akwenu  $(x, y)$  w momencie  $t$ .

Spełnienie powyższego warunku jest ściśle związane z bezpieczną (dostępną) głębokością i szerokością toru wodnego oraz parametrami przechodzących nim „statków maksymalnych”. Statki te wybierane są ze zbioru „statków charakterystycznych” dla podejściowego toru wodnego (Tabela 1). Wyбирane są dwa rodzaje statków:

1. „Statki maksymalne” – parametry których służą do obliczenia bezpiecznej głębokości toru. W przypadku portu Świnoujście są to: masowiec (1) i kontenerowiec (2).
2. „Statki maksymalne” – parametry których służą do obliczenia bezpiecznej szerokości toru. W przypadku Świnoujścia jest to gazowiec LNG (3).

#### 4. OKREŚLENIE BEZPIECZNYCH GŁĘBOKOŚCI PODEJŚCIOWYCH TORÓW WODNYCH

Wielkość rezerwy wody pod stępką decyduje o bezpieczeństwie wykonywanego manewru. Bezpieczna rezerwa wody pod stępką zależy od wielu różnorodnych czynników, które można zapisać w postaci funkcji:

$$\Delta(x, y, t) = f(A(x, y, t), S(x, y, t), H(x, y, t), M(x, y, t), R(x, y, t))$$

gdzie:  $A(x, y, t)$  – parametry akwenu w punkcie  $(x, y)$  w momencie  $t$ ,  
 $S(x, y, t)$  – parametry statku w punkcie akwenu  $(x, y)$  w momencie  $t$ ,  
 $H(x, y, t)$  – parametry warunków hydrometeorologicznych w punkcie akwenu  $(x, y)$  w momencie  $t$ ,  
 $M(x, y, t)$  – parametry wykonywanego manewru w punkcie akwenu  $(x, y)$  w momencie  $t$ ,  
 $R(x, y, t)$  – parametry serwisu hydrograficznego w punkcie akwenu  $(x, y)$  w momencie  $t$ .

Zapewnienie bezpieczeństwa statku podchodzącego do portu Świnoujście wymaga spełnienia powyższego warunku bezpieczeństwa nawigacji, do oceny którego niezbędne jest określenie rezerwy wody pod stępką dla „statków maksymalnych”.

Do określenia rezerwy wody pod stępką dla „statków maksymalnych” na podejściowych torach wodnych zastosowano metodę elementów składowych [2].

Przy obliczeniach elementów składowych rezerwy wody pod stępką przyjęto następujące założenia:

Osiadanie zmienia się w funkcji liczby Froude’a, którą wyznacza się z zależności:

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

gdzie:  $V$  – prędkość statku [m/s],  
 $h$  – głębokość akwenu [m],  
 $k$  – przyspieszenie ziemskie równe 9,81 [m/s<sup>2</sup>].

Jeżeli wartość liczby Froude’a zbliża się do jedności opory ruchu stają się tak duże, iż większość statków wypornościowych nie posiada wystarczającej mocy aby je przewyciężyć. W rzeczywistości wartość liczby Froude’a nie przekracza wartości 0,6 dla statków pełnych (wysoki współczynnik pełnotliwości kadłuba) i 0,7 dla kontenerowców.

Istnieje kilka metod wyznaczania wielkości osiadania statku. Na cele niniejszej pracy wybrane zostały metody, dla których współczynnik pełnotliwości kadłuba nie musi być większy niż 0,8, a więc mogą być wykorzystane zarówno do wyznaczenia osiadania masowca jak i kontenerowca. Należą do nich metody:

- Huuska / Guliev,
- Barrass,
- Romisch.

Rezerwa wody na falowanie morza zależy od szeregu czynników, takich jak: wysokość i długość fali, szerokość i długość statku, jego prędkość, kąt kursowy nabiegu fali itp. Dla poszczególnych odcinków podejściowego toru wodnego rezerwa wody na falowanie obliczono przyjmując wysokość fali odpowiadającej wiatrom o prędkościach 10 m/s (5° B) ÷ 15 m/s (7° B) wiejącym z kierunków NE i E (najmniej korzystne).

Analiza wyników jednoznacznie określa bezpieczne głębokości podejściowych torów wodnych dla portu Świnoujście wymagane w 2014 roku.

1. Podejściowy tor wodny prowadzący z otwartego Bałtyku do kotwiczowiska Nr 3 powinien mieć następującą bezpieczną głębokość:

- przy braku ograniczeń nawigacyjnych (prędkość 18,5 węzła dla kontenerowców i 15 węzłów dla masowców):

$$h \geq 16,7 \text{ m}$$

- ograniczenie prędkości do 15 węzłów kontenerowców i 10 węzłów dla masowców:

$$h \geq 16,3 \text{ m}$$

2. Podejściowy tor wodny prowadzący od Kotwiczowiska Nr 3 do pary pław 7-8 powinien mieć następującą bezpieczną głębokość:

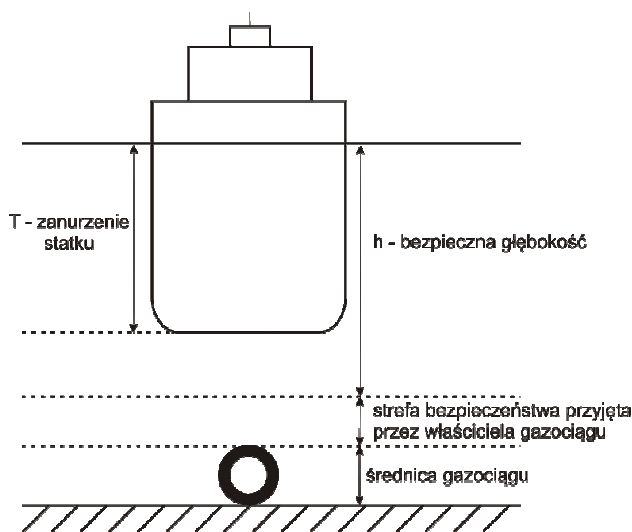
- brak ograniczeń nawigacyjnych (prędkość 15 węzłów dla kontenerowców i 10 węzłów dla masowców):

$$h \geq 15,5 \text{ m}$$

- ograniczenie prędkości do 10 węzłów dla kontenerowców i 8 węzłów dla masowców:

$$h \geq 14,6 \text{ m}$$

Bezpieczna głębokość, to dostępna głębokość dla żeglugi nad gazociągiem i nad strefą bezpieczeństwa przyjętą przez właściciela gazociągu (Rys. 3).



Rys. 3. Głębokość dostępna dla żeglugi po uwzględnieniu średnicy gazociągu oraz strefy bezpieczeństwa przyjętej przez właściciela gazociągu (bezpieczna głębokość)



## 5. OKREŚLENIE BEZPIECZNYCH SZEROKOŚCI PODEJŚCIOWYCH TORÓW WODNYCH

W celu określenia bezpiecznej szerokości podejściowych torów wodnych do portu w Świnoujściu jako „statek maksymalny” przyjęto gazowiec LNG, który posiada największą długość i szerokość ze zbioru „statków charakterystycznych”.

Do określenia bezpiecznej szerokości podejściowego toru wodnego od kotwiczowiska Nr 3 do pary pław 7-8 zastosowano trzy metody empiryczne oraz metodę symulacyjną ruchu gazowców w czasie przyspieszonym wykorzystującą modele autonomiczne [3, 4]. Bezpieczna szerokość tego podejściowego toru wodnego określona omawianymi metodami odpowiednio wynosi:

1. Metoda symulacyjna wykorzystująca model autonomiczny:

$$d \approx 200 \text{ m}$$

2. Metoda Instytutu Nawigacji Morskiej:

$$d \approx 160 \text{ m}$$

3. Metoda PIANC:

$$d \approx 180 \text{ m}$$

4. Metoda Kanadyjska:

$$d \approx 165 \text{ m}$$

Biorąc pod uwagę dokładność poszczególnych metod oraz uwzględnienie w metodzie symulacyjnej warunków lokalnych przyjęto, że bezpieczna szerokość podejściowego toru wodnego od kotwiczowiska Nr 3 do pary pław 7-8 wynosi:

$$d \geq 200 \text{ m}$$

Do określenia bezpiecznej szerokości podejściowego toru wodnego z otwartego Bałtyku do kotwiczowiska Nr 3 określono metodami empirycznymi uzyskując następujące wyniki:

1. Metoda Instytutu Nawigacji Morskiej:

$$d \approx 360 \text{ m}$$

2. Metoda PIANC:

$$d \approx 450 \text{ m}$$

3. Metoda Kanadyjska:

$$d \approx 430 \text{ m}$$

Biorąc powyższe pod uwagę średnią bezpieczną szerokość podejściowego toru wodnego z otwartego Bałtyku do kotwiczowiska Nr 3 określoną metodami empirycznymi można przyjąć jako równą:

$$d \geq 420 \text{ m}$$

## 6. WNIOSKI

Podejściowy tor wodny do portu Świnoujście należy zmodernizować zmieniając jego parametry. Związane jest to z prowadzonymi i planowanymi inwestycjami portowymi:

- budową Portu Zewnętrznego w Świnoujściu (uruchomienie Terminalu LNG w 2014 roku),
- budową Terminalu Kontenerowego w Porcie Handlowym Świnoujście,
- budową stanowiska promowego Nr 1 w Terminalu Promowym Świnoujście.

Realizacja powyższych inwestycji umożliwi w 2014 roku obsługę w porcie Świnoujście statków o następujących maksymalnych parametrach:

- Kontenerowiec: długość 275 m, zanurzenie 13,5 m.
- Masowiec: długość 270 m, zanurzenie 13,5 m.
- Gazowiec LNG: długość 315 m, zanurzenie 12,5 m.

Parametry zmodernizowanego podejściowego toru wodnego do portu Świnoujście zapewniające bezpieczną żeglugę powinny wynosić:

1. Północny tor podejściowy do pławy N-1 (kotwiczowisko 3) przechodzący przez pozycję pławy REDA (Rys. 4):
  - bezpieczna głębokość  $h \geq 16,7$  m (bez ograniczeń prędkości),
  - bezpieczna głębokość  $h \geq 16,3$  m (z ograniczoną prędkością),
  - bezpieczna szerokość  $d \geq 420$  m.
2. Tor podejściowy od pławy N-1 (kotwiczowisko 3) do pary pław 7-8 (Tor Północny):
  - bezpieczna głębokość  $h \geq 15,5$  m (bez ograniczeń prędkości),
  - bezpieczna głębokość  $h \geq 14,6$  m (z ograniczoną prędkością),
  - bezpieczna szerokość toru w dnie  $d \geq 200$  m.

Brak pogłębienia północnego toru podejściowego do pławy N-1 (kotwiczowisko 3) przechodzącego przez pozycję pławy REDA oraz odpowiedniego zagłębienia gazociągu Nord Stream ograniczy zanurzenie statków:

- masowce do  $T = 13,2$  m,
- kontenerowce i gazowce LNG do  $T = 12,5$  m.

Uruchomienie w przyszłości pozostałych nabrzeży w Porcie Zewnętrznym Świnoujście umożliwi obsługę statków o zanurzeniu  $T = 14,5$  m, co wymagałoby utrzymania na podejściowych torach wodnych następujących głębokości:

- północny tor podejściowy do pławy N-1 (kotwiczowisko 3)  $h \geq 17,5$  m,
- tor podejściowy od pław N-1 (kotwiczowisko 3) do pary pław 7-8 (Tor Północny)  $h \geq 15,5$  m.



Rys. 4. Podejściowe tory wodne do portu Świnoujście z naniesionym planowanym gazociągiem Nord Stream

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] „Analiza nawigacyjna portu zewnętrznego w Świnoujściu”. Praca naukowo-badawcza, Akademia Morska w Szczecinie, 2008 r.
- [2] Gucma S.: „Inżynieria ruchu morskiego”, Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk, 2001 r.
- [3] Gucma S. i inni: „Projektowanie i eksploatacja terminali LNG w aspekcie bezpieczeństwa nawigacji”, Akademia Morska w Szczecinie, 2009 r.
- [4] Gucma S., Gucma L. i Zalewski P.: „Symulacyjne metody badań w inżynierii ruchu morskiego”, Akademia Morska w Szczecinie, 2008 r.