

OCENA GŁĘBOKOŚCI PÓŁNOCNEGO TORU PODEJŚCIOWEGO DO PORTU ŚWINOUJŚCIE OD POZYCJI GAZOCIĄGU NORD STREAM DO TERMINALU LNG W ASPEKTCIE OBSŁUGI JEDNOSTEK O MAKSYMALNYCH GABARYTACH – METODA ROZBUDOWANA

Niniejsze opracowanie obejmuje ocenę maksymalnego zanurzenia statku handlowego, który przy działaniu różnych warunków zewnętrznych (przeciętnych i ekstremalnych) mógłby bezpiecznie prowadzić żeglugę (manewrować) północnym torem wodnym prowadzącym od pozycji gazociągu Nord Stream do portu Świnoujście, zachowując przy tym wymagany zapas wody pod stępką, czyli minimalną rezerwę nawigacyjną głębokości. Do określenia maksymalnego zanurzenia statku posłużono się metodą praktyczną, wykorzystując definicję ryzyka nawigacyjnego oraz model przestrzenny domeny statku. Otrzymane wyniki porównano z wytycznymi Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1 czerwca 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne obsługujące statki o określonych gabarytach.

Ocenę rezerwy nawigacyjnej głębokości (zapasu wody pod stępką) dokonano zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1 czerwca 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne obsługujące statki o określonych gabarytach [11]. W obliczeniach uwzględniono działanie różnych zakłóceń zewnętrznych (przeciętnych i ekstremalnych) dla przykładowych statków handlowych, a w szczególności:

- masowca o gabarytach: długość $L = 270$ m, szerokość $B = 42$ m, zanurzenie na Bałtyku¹ $T_D = T_R = 15$ m, współczynnik pełnotliwości kadłuba $C_B = 0,85$;
- kontenerowca o gabarytach: długość $L = 275$ m, szerokość $B = 32$ m, zanurzenie $T_D = T_R = 13,2$ m, współczynnik pełnotliwości kadłuba $C_B = 0,7$;
- promu pasażerskiego o gabarytach: długość $L = 140$ m, szerokość $B = 16$ m, zanurzenie $T_D = T_R = 7,5$ m, współczynnik pełnotliwości kadłuba $C_B = 0,65$;
- zbiornikowca LNG o gabarytach: długość $LOA = 280$ m, szerokość $B = 43$ m, zanurzenie $T_D = T_R = 12,3$ m, współczynnik pełnotliwości kadłuba $C_B = 0,746$.

¹ Limitowane zanurzenie $T = 15$ m przyjmowało się na Bałtyku jako maksymalne dla statków chcących bezpiecznie przepłynąć przez cieśniny duńskie (Wielki Belt). Od listopada 2007 r. na skutek wypłynięcia akwenu limitowane zanurzenie statków przepływających przez Wielki Belt zredukowano jednak do 14,5 m (*Notice to Mariners*, November 2007).

Wytyczne Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie głębokości akwenów przy budowach morskich i ich usytuowanie oraz sumaryczny zapas głębokości wody pod stępką kadłuba statku – metoda rozbudowana

Określenie sumarycznego zapasu głębokości wody R_i , należy przeanalizować dla każdej jednostki nawodnej uprawiającej żeglugę w danym akwenie. W każdym przypadku sumaryczny zapas głębokości R_i nie może być jednak mniejszy od minimalnego sumarycznego zapasu głębokości wody R_i^{\min} określonego wcześniej. Ponadto zapas głębokości R_i powinien umożliwiać pływalność statku nawet w najniekorzystniejszych warunkach hydrologicznych występujących w akwenie.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1998 r. przy ustalaniu sumarycznego zapasu głębokości R_i należy wziąć pod uwagę sumę następujących elementów składowych:

- rezerwy R_1 na niedokładność hydrograficznego pomiaru głębokości wody;
- rezerwy nawigacyjnej R_2 , tj. minimalnego zapasu wody pod stępką jednostki pływającej, umożliwiającego jej pływalność, zależnego od rodzaju gruntu dna akwenu lub sposobu umocnienia dna przy budowlu morskiej;
- rezerwy R_3 na niskie stany wody, przyjmowanej na podstawie krzywej sumy czasów trwania stanów wody dla danego wodowskazu, sporządzonej w oparciu o wieloletnie notowania, z wprowadzonym do obliczeń poziomem wody trwającym wraz z wyższymi poziomami przez 99% rozpatrywanego czasu lub różnicy pomiędzy poziomem morza SW i poziomem morza SNW;
- rezerwy R_4 na splotenie dna akwenu, umożliwiającej pełną eksploatację akwenu w okresie pomiędzy podczyszczeniowymi robotami czerpalnymi;
- rezerwy R_5 na falowanie wody;
- rezerwy R_6 na zwiększenie zanurzenia jednostki pływającej w wodzie słodkiej polskich obszarów morskich;
- rezerwy R_7 , wyrażonej w metrach, na podłużne przegłębienie kadłuba (do 2°) i przechyły boczne kadłuba (do 5°) jednostek pływających;
- rezerwy R_8 na przegłębienie rufy jednostki pływającej będącej w ruchu, uwzględnianej w obliczeniach głębokości wody torów podejściowych, torów wodnych, kanałów i basenów portowych oraz obrotnic statków;
- rezerwy R_9 na osiadanie całej jednostki pływającej będącej w ruchu, określanej indywidualnie w oparciu o badania modelowe i pomiary dokonywane na akwenach żeglugowych.

Rezerwa R_1 na niedokładność hydrograficznego pomiaru głębokości wody

Wartość rezerwy R_1 zależy od głębokości akwenu. Głębokości na mapach nawigacyjnych podawane są według określonych standardów dokładności. Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna (IHO) przyjęła [4] w 2008 r. następujące standardy ($P = 95,4\%$):

| | | |
|-------------|-----|---------------------|
| 0,25÷0,34 m | dla | $H = 0\div 30$ m; |
| 0,63÷1,40 m | dla | $H = 30\div 100$ m. |

Od stycznia 1991 r. na mapach brytyjskich (BA) dokładność danych batymetrycznych określona błędem pomiaru głębokości ($P = 95,4\%$) ma wartość:

$$2 \cdot \delta_H = \sqrt{0,5^2 + (0,009 \cdot H)^2} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

co dla badanego akwenu (północnego toru podejściowego do portu Świnoujście) o głębokościach średnich 15 m daje błąd rzędu **0,52 m**.

Mapy wydawane przez lokalne organa administracji morskiej (inne niż brytyjskie) mogą posiadać odmienne standardy dokładności zgodne z przepisami miejscowymi. Zgodnie z opinią Gucmy i Jagniszczak [3] w praktyce rezerwa nawigacyjna R_1 utożsamiana z błędem sondażu dla akwenu o głębokościach do 20 m powinna wynosić 0,2 m. Nie popełnimy zatem błędów, przyjmując do dalszych rozważań wartość średnią rezerwy R_1 na niedokładność hydrograficznego pomiaru głębokości jako **0,35 m**.

Rezerwa nawigacyjna R_2 , tj. minimalny zapas wody pod stępką jednostki pływającej, umożliwiający jej pływalność, zależny od rodzaju gruntu dna akwenu lub sposobu umocnienia dna przy budowlu morskiej

Rezerwa nawigacyjna R_2 wynika z niepełnej znajomości głębokości i czystości dna, błędów interpolacji między poszczególnymi sondowaniami oraz skutków ewentualnego zetknięcia się kadłuba z dnem. W praktyce dla akwenów przybrzeżnych nieosłoniętych, narażonych na duże falowanie oraz działanie prądów morskich przy dnie piaszczysto-skalistym (w obrębie badanego akwenu dno jest twarde, piaszczyste z licznymi głazami, prądy zaś osiągają wartość do 2 w), z małą gęstością sondażu wartość rezerwy R_2 należy przyjąć od **1 m do 1,5 m**.

Rezerwa R_3 na niskie stany wody

Rezerwa nawigacyjna R_3 wynika z obserwowanych wahań poziomu wody w stosunku do zera mapy wywołanych określonymi warunkami hydrometeorologicznymi. Długotrwałe i silne wiatry wiejące w stronę lądu oraz stany powodziowe na rzekach podnoszą poziom wody, natomiast silne wiatry wiejące od lądu oraz niskie stany wody w rzekach obniżają go.

W praktyce dla obszarów wód bezpływowych, jakim jest akwen, w obrębie badanego akwenu jako rezerwę nawigacyjną R_3 można przyjąć wartość **0,3 m**. Należy jednak pamiętać, iż obserwacje wieloletnie stanu wody w akwenu prowadzone w pobliskiej stacji pomiarowej w Świnoujściu potwierdziły dość znaczne wahania stanu wody od poziomu wody średniej [5]. Na przykład według danych IMGW [5] w Świnoujściu w roku 2001 zaobserwowano wodę wysoką WW na poziomie 599 cm, wodę średnią SW na poziomie 505 cm oraz wodę niską NW na poziomie 393 cm. Zmiany te rzędu 206 cm zaobserwowano w skali jednego roku. Generalnie różnice pomiędzy ekstremalnymi wartościami poziomów wody osiągają najniższe wartości na wybrzeżu centralnym i wschodnim, a największe na wybrzeżu zachodnim, a więc w obrębie badanego akwenu. Przy najbardziej niekorzystnych warunkach hydrometeorologicznych wartość rezerwy nawigacyjnej R_3 należałoby zatem zwiększyć do wartości minimum **0,6 m**.

Rezerwa R_4 na spłylenie dna akwenu

W omawianym akwenu nie prowadzi się robót podczyszczeniowych czerpalnych. Dno akwenu uformowane zostało w sposób naturalny, stąd wartość rezerwy nawigacyjnej R_4 w dalszych rozważaniach możemy pominąć.

Rezerwa R_5 na falowanie wody

Do wyznaczenia wartości składowej R_5 pochodzącej od falowania morskiego stosuje się obecnie kilka metod, są to jednak metody bardzo przybliżone, oddające jedynie z grubsza obraz sytuacji rzeczywistej. Najczęściej stosowanym wzorem empirycznym do określenia zmiany zanurzenia ΔT_5 dla statku nieruchomego na fali jest zależność opracowana przez Danda oraz Fergusona (*The Squat of Full Ships in Shallow Water*, The Naval Architect, 1973, no. 3) oraz zalecana przez Nowickiego [9] (**metoda 1**):

$$\Delta T_5 = k \cdot h_f \quad [\text{m}] \quad (2)$$

gdzie:

- k – współczynnik zależny od stosunku szerokości i długości statku do długości i kąta kursowego fali, zawarty w granicach od 0,33 do 0,66,
- h_f – wysokość fali [m].

Współczynnik k zależy od stosunku szerokości i długości statku do długości fali oraz kąta kursowego jej nabiegu. Największe wartości przybiera on w przypadku statku ustawionego burtą do fali, którego szerokość jest mniejsza od połowy długości fali. Dla statków dużych w stosunku do rozmiarów fali współczynnik ten przyjmuje minimalne wartości. Pod pojęciem „duży” należy rozumieć statek spełniający następujące warunki:

- dla kąta nabiegu fali około 000° lub 180° : $L \geq \lambda$;
- dla kąta nabiegu fali około 090° : $B \geq 0,5\lambda$, gdzie: λ – długość fali.

Dla statków w ruchu wartość rezerwy należy zwiększyć [8] zależnie od prędkości o:

- 12,5% dla prędkości $v \leq 10$ węzłów;
- 25,0% dla prędkości $v > 10$ węzłów.

Kolejną szeroko stosowaną metodą pozwalającą obliczyć składową pionowej rezerwy nawigacyjnej statku na fali jest (za [9]) metoda van Houtena (**metoda 2**). Została ona podana na XXI Międzynarodowym Kongresie Żeglugi w Sztokholmie w 1965 r. w oparciu o dane zakotwiczonych zbiornikowców. Zakres stosowalności metody ogranicza się do przedziału wielkości statków od 15 000 DWT do 65 000 DWT – ekstrapolacja, szczególnie dla statków mniejszych niż 15 000 DWT, może prowadzić do błędnych wyników. Stosując metodę van Houtena, należy się liczyć także z niedokładnościami obliczeń amplitud ruchów na fali dla statku w ruchu. Przykładowe wartości maksymalnego zmniejszenia się rezerwy wody pod stępką w wyniku falowania określone metodą van Houtena dla dwóch typów statków przy różnych kierunkach wiatru na Zatoce Pomorskiej przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Zmniejszenie się zapasu wody pod stępką w wyniku falowania obliczone metodą van Houtena (oprac. własne na podstawie [16])

Table 1. Reduction of under keel clearance (UKC) in case of the wave described by the method of van Houten (prepared by author on the basis of [16])

| Kierunek wiatru $w = 18$ m/s | ELEMENTY FALI | | | ZMNIJSZENIE ZAPASU WODY POD STĘPKĄ [m] | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------------|------------------|---|--------|------------|--------|--|--------|------------|--------|
| | h_f 5% [m] | λ 5% [m] | τ 5% [s] | Dla statku: $L = 232,5$ m, $B = 32,2$ m, $T = 12,8$ m | | | | Dla statku: $L = 197$ m, $B = 24$ m, $T = 12$ m | | | |
| | | | | Odcinek I | | Odcinek II | | Odcinek I | | Odcinek II | |
| N | 4,80 | 87 | 10,2 | 3,10 m | 0,242T | 4,32 m | 0,338T | 3,04 m | 0,253T | 3,87 m | 0,323T |
| NE | 5,12 | 94 | 11,2 | 5,32 m | 0,416T | 5,45 m | 0,426T | 4,98 m | 0,415T | 5,29 m | 0,441T |
| E | 4,64 | 85 | 9,3 | 4,82 m | 0,377T | 4,51 m | 0,352T | 4,60 m | 0,383T | 4,27 m | 0,356T |
| SE | 3,20 | 56 | 7,9 | 2,65 m | 0,207T | 1,92 m | 0,150T | 2,33 m | 0,194T | 1,70 m | 0,142T |
| S | 2,78 | 46 | 7,8 | 1,36 m | 0,106T | 2,00 m | 0,156T | 1,29 m | 0,108T | 1,81 m | 0,151T |
| SW | 2,50 | 40 | 7,7 | 2,14 m | 0,167T | 2,37 m | 0,185T | 1,91 m | 0,159T | 2,23 m | 0,186T |
| W | 2,83 | 47 | 8,0 | 2,62 m | 0,205T | 2,60 m | 0,203T | 2,66 m | 0,222T | 2,39 m | 0,199T |
| NW | 4,10 | 72 | 9,2 | 3,42 m | 0,267T | 2,29 m | 0,179T | 3,05 m | 0,254T | 2,16 m | 0,180T |

I – odcinek toru wodnego od Świnoujścia do pławy N2; II – odcinek toru wodnego od pławy N2 do pławy SWIN; $h_{f5\%} = 1,95 \cdot h_f$, $\lambda_{5\%} = 1,82 \cdot \lambda$, $\tau_{5\%} = 1,61 \cdot \tau$

Pewną pomocą w praktycznej ocenie zmniejszenia zapasu wody pod stępką pod wpływem falowania (**metoda 3**) może być tabela 2, opracowana przez Europejską Organizację Pilotów Morskich (European Maritime Pilot Organization) dla zbiornikowców o nośności w granicach 17 000 do 80 000 t, dla przeciętnych warunków falowania obserwowanych w południowej części Morza Północnego (okres fali 10 s, wysokość 1,83 m oraz 4,57 m). Podano w niej wartości zmian zapasu wody pod stępką dla kołysania wzdłużnego, poprzecznego i nurzania przy ruchu statku na falę oraz poprzecznie i ukośnie do kierunku jej rozchodzenia. Warto podkreślić, że wymienione wartości osiągają, a nawet przekraczają wysokość fali, szczególnie podczas żeglugi na kierunkach prostopadłych do kierunku falowania. Fakt ten z punktu widzenia bezpieczeństwa żeglugi należy uznać za dodatkowy element przemawiający za zachowaniem ostrożności przy korzystaniu ze wskazań zależności (2). Dla wypadku nawigowania ukośnie do kierunku falowania w tabeli podano także wartości łącznych zmian zapasu wody pod stępką powstających na dziobie i rufie, na śródkręciu oraz na wysokości zaoblenia dziobu i rufy. Tym samym składową R_5 stanowi bądź $\delta_p(AZ)_{25}$, czyli błąd określenia powstałej z tego powodu zmiany (zależny głównie od dokładności określenia średniej wysokości fali), bądź zmiana zanurzenia $\Delta Z_5 = \Delta T_5$ zwiększona o błąd $\delta_p(AZ)_5$:

$$R_5 = \Delta T_5 + \delta_p(AZ)_5 \quad [\text{m}] \quad (3)$$

Tabela 2. Zmniejszenie zapasu wody pod stępką wywołane falowaniem akwenu według zaleceń Europejskiej Organizacji Pilotów Morskich (European Maritime Pilot Organization) [9]

Table 2. Reduction of under keel clearance in case of the wave, counted in accordance with the European Maritime Pilot Organization [9]

| PARAMETRY STATKU | FAŁA | | KĄT KURSOWY FAŁI | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-----------|---------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|-----------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Wysokość [m] | Okres [s] | 000° | | | 090° | | | 045° lub 135° | | | | | |
| | | | Kołysanie wzdłużne [m] | Nurzanie [m] | Razem [m] | Kołysanie po- przeczne [m] | Nurzanie [m] | Razem [m] | Kołysanie wzdłużne [m] | Kołysanie po- przeczne [m] | Nurzanie [m] | Razem dziób lub rufa [m] | Środkowce [m] | Zaoblenie dziobu lub rufy [m] |
| Nośność = = 17049 t L = 149,00 m B = 21,60 m T = 9,14 m | 4,57 | 10 | 2,80 | 0,15 | 2,96 | 2,93 | 2,13 | 5,06 | 2,50 | 2,35 | 0,76 | 3,26 | 3,11 | 3,93 |
| | 1,83 | 10 | 1,07 | 0,06 | 1,13 | 1,13 | 0,91 | 2,04 | 0,97 | 0,91 | 0,30 | 1,28 | 1,22 | 1,52 |
| Nośność = = 37594 t L = 203,00 m B = 28,00 m T = 10,97 m | 4,57 | 10 | 2,80 | 0,30 | 3,11 | 3,78 | 1,52 | 5,30 | 2,50 | 3,05 | 0,53 | 3,05 | 3,58 | 4,42 |
| | 1,83 | 10 | 1,07 | 0,12 | 1,14 | 1,46 | 0,61 | 2,07 | 0,97 | 1,16 | 0,21 | 1,19 | 1,37 | 1,68 |
| Nośność = = 45722 t L = 216,00 m B = 29,80 m T = 11,58 m | 4,57 | 10 | 2,74 | 0,24 | 2,99 | 4,02 | 1,07 | 5,09 | 2,47 | 3,20 | 0,37 | 2,83 | 3,57 | 4,39 |
| | 1,83 | 10 | 0,91 | 0,09 | 1,00 | 1,55 | 0,49 | 2,04 | 0,82 | 1,25 | 0,15 | 0,97 | 1,40 | 1,68 |
| Nośność = = 60963 t L = 236,00 m B = 32,90 m T = 12,44 m | 4,57 | 10 | 2,47 | 0,15 | 2,62 | 4,45 | 0,82 | 5,27 | 2,22 | 3,57 | 0,29 | 2,53 | 3,87 | 4,60 |
| | 1,83 | 10 | 0,82 | 0,08 | 0,91 | 1,74 | 0,33 | 2,07 | 0,73 | 1,37 | 0,11 | 0,85 | 1,49 | 1,74 |
| Nośność = = 81284 t L = 257,00 m B = 36,30 m T = 14,02 m | 4,57 | 10 | 2,20 | 0,12 | 2,38 | 4,88 | 0,61 | 5,49 | 1,98 | 3,90 | 0,21 | 2,19 | 4,11 | 4,75 |
| | 1,83 | 10 | 0,97 | 0,00 | 0,97 | 1,89 | 0,24 | 2,13 | 0,88 | 1,52 | 0,08 | 0,97 | 1,61 | 1,92 |

W warunkach rzeczywistych statek na fali wykonuje ruchy złożone, będące kombinacją ruchów prostych (o jednym stopniu swobody). Zwykle jeden rodzaj ruchu powoduje powstanie innego, sprzężonego z nim, np. kombinacje nurzania i kiwania (*scend*). Powyższy fakt w połączeniu z wpływem kształtu kadłuba na pozycję najgłębiej zanurzonego punktu (zaoblenia na dziobie i rufie) przy ruchach statku na fali prowadzi do wniosku, że prognozowanie zmian w wyniku ruchów złożonych oparte na zwykłym sumowaniu efektów ruchów prostych często prowadzi do zawyżonych wyników. Z drugiej jednak strony dodatkowe zwiększenie marginesu bezpieczeństwa, szczególnie w sytuacjach najbardziej niekorzystnych wpływa pozytywnie na zmniejszenie się wskaźnika ryzyka nawigacyjnego, a co za tym idzie – wzrost bezpieczeństwa nawigacji.

Na przykład zgodnie z wytycznymi opracowania *Report of Working Group IV of the Pianc International Commission for The Reception of Large Ships*, dla torów wodnych wyeksponowanych na dużą falę rozkołysu minimalny zapas wody pod stępką należy ustalić jako wartość 15% maksymalnego zanurzenia statku (**metoda 4**).

Podobne rozważania przedstawili autorzy podręcznika „Nawigacja Morska dla Kapitanów” [3], w którym to minimalną rezerwę na falowanie na akwencie otwartym na prostoliniowym torze wodnym niewymagającym pogłębienia przy fali do 3 m ustalili jako wartość do 40% maksymalnego zanurzenia statku (**metoda 5**).

Rutkowski [12] rezerwę na falowanie wody ustalił natomiast w formie następującej zależności (**metoda 6**):

$$R_5 = 0,66 \cdot m \cdot h_f \quad [\text{m}] \quad (4)$$

gdzie:

R_5 – rezerwa na falowanie wody [m];

h_f – wysokość fali [m];

m – bezwymiarowy współczynnik liczbowy zależny od parametrów statku (v , B , L , C_B) oraz parametrów fali (λ , h_f , q).

Przykładowe wartości rezerwy nawigacyjnej R_5 na falowanie wody obliczone dla różnych typów statku przedstawiono w tabeli 4. W obliczeniach uwzględniono różne metody obliczeń zakładając, że każdy statek podąża wzdłuż akwenu spłyconego na Zatoce Pomorskiej w kierunku zgodnym z ruchem fali wiatrowej z prędkością nie większą niż 10 węzłów. W obliczeniach przyjęto tor wodny niewymagający pogłębienia położony na akwencie otwartym poddanym falowaniu o wysokości fali do 3 m. W rozważaniach przyjęto falę o długości do 100 m.

Ze względu na duże rozbieżności wyników do dalszych rozważań jako rezerwę R_5 na falowanie wody przyjmujemy wartości uzyskane z metody 6. Metoda ta uzależnia bowiem wartość rezerwy R_5 od parametrów fali i daje wyniki zbliżone lub nieco większe niż wyniki uzyskane metodami 1, 3 i 4. Metodę 2 i 5 uznano jako zbyt ogólnikowe i nieuwzględniające wzajemnych relacji pomiędzy parametrami statku i fali.

Tabela 3. Wartości liczbowe współczynnika m w zależności od parametrów statku (v , B , L , C_B) oraz parametrów fali (λ , h_f , q) [13]

Table 3. Numerical coefficient (factor m) dependent on the ship's particulars (v , B , L , C_B) and waves characteristics (λ , h_f , q) [13]

| m | Dla fali z dziobu lub rufy ($q \approx 000^\circ$ lub 180°) | Dla fali z burty ($q \approx 090^\circ$) |
|--------------|---|--|
| 0,500 | gdy: $v = 0$, a $L > \lambda$ | gdy: $v = 0$, a $B > \lambda$ |
| 1,000 | gdy: $v \geq 10$ w, a $L \geq \lambda$ | gdy: $v \geq 10$ w, a $B \geq 0,5 \cdot \lambda$ |
| 1,125 | gdy: $v < 10$ w, a $L < 0,5 \cdot \lambda$ | gdy: $v < 10$ w, a $B < 0,5 \cdot \lambda$ |
| $\geq 1,250$ | gdy: $v \geq 10$ w, a $L < 0,5 \cdot \lambda$ | gdy: $v \geq 10$ w, a $B < 0,5 \cdot \lambda$ |

Maksymalne wysokości fal notowano przy wiatrach północnych oraz północno-wschodnich. Maksymalna długość fali wynosiła 160 m w części wschodniej wybrzeża i około 120 m w części zachodniej wybrzeża. W przeważającej większości obserwuje się jednak w akwenie fale mniejsze (do 3 m) i krótsze (do 40 m). Aż 90,85% fal w części wschodniej i 96,53% fal w części zachodniej stanowiły fale o wysokości $H_{5\%} < 1,5$ m. Fale ekstremalne o wysokości $H_{5\%} > 3$ m stanowią mniej niż 0,3% fal w części wschodniej wybrzeża i mniej niż 0,01% wszystkich fal obserwowanych w części zachodniej wybrzeża [3].

Rezerwa R_6 na zwiększenie zanurzenia jednostki pływającej w wodzie słodkiej polskich obszarów morskich, obliczana w metrach ze wzoru:

$$R_6 = 0,025 \times T_c \quad (5)$$

gdzie:

T_c – największe dopuszczalne zanurzenie kadłuba równomiernie załadowanego statku [m].

Wartość rezerwy R_6 na zwiększenie zanurzenia jednostki pływającej w wodzie słodkiej polskich obszarów morskich dotyczy statków wpływających na Bałtyk z Morza Północnego.

Gęstość wody w Bałtyku waha się od wartości $\gamma_1 = 1,00525$ g/cm³ do $\gamma_2 = 1,00250$ g/cm³, co w stosunku do gęstości wody określonej dla Morza Północnego ($\gamma_3 = 1,025$ g/cm³) powoduje wzrost zanurzenia statku. Przykładowe wartości rezerwy R_6 na zwiększenie zanurzenia w wodzie słodkiej polskich obszarów morskich obliczone według zależności (5) dla różnych typów jednostek przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Przykładowe wartości rezerwy R_6 na zwiększenie zanurzenia w wodzie słodkiej polskich obszarów morskich obliczone dla różnych typów statków (oprac. własne)

Table 6. The value of reserve R_6 for increasing ship's draught in breaking sea water near Polish coast on the Baltic Sea established for the different types of vessel (prepared by author)

| Typ jednostki | R_6 [m] |
|--|-----------|
| Masowiec ($L = 270$ m, $B = 42$ m, $T = 15$ m, $C_B = 0,85$) | 0,38 |
| Kontenerowiec ($L = 275$ m, $B = 32$ m, $T = 13,2$ m, $C_B = 0,70$) | 0,33 |
| Prom pasażerski ($L = 140$ m, $B = 16$ m, $T = 7,5$ m, $C_B = 0,65$) | 0,19 |
| LNG ($L = 280$ m, $B = 43$ m, $T = 12,3$ m, $C_B = 0,746$) | 0,31 |

Rezerwa R_7 , wyrażona w metrach, na podłużne przegłębienie kadłuba (do 2°) i przechyły boczne kadłuba (do 5°) jednostek pływających, obliczana według wzorów:

a) rezerwa na podłużne przegłębienie kadłuba jednostki pływającej:

$$R_7^I = 0,0016 \cdot L_c \quad (6)$$

gdzie:

L_c – całkowita długość kadłuba statku od dziobu do rufy [m];

b) rezerwa na poprzeczny przechył kadłuba jednostki pływającej:

$$R_{7}^{\text{II}} = 0,008 \cdot B_c \quad (7)$$

gdzie:

B_c – całkowita szerokość kadłuba statku [m].

Do obliczeń głębokości wody przyjmuje się wartość rezerwy R_7 , jako wartość większą z dwóch wartości określonych według wzoru (6) i (7), lecz nie mniejszą niż $R_7 = 0,15$ m.

Wzrost zanurzenia statku wywołany przechylem bocznym możemy obliczyć również z zależności:

$$\Delta T_7^{\text{II}} = T_M [\cos(\theta) - 1] + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \sin(\theta) \quad (8)$$

gdzie:

ΔT_7^{II} – zmiana zanurzenia wywołana przechylem bocznym statku [m],

T_M – średnie zanurzenie statku [m],

θ – kąt bocznego przechyłu statku [°],

B – szerokość statku [m].

Wzrost zanurzenia statku wywołany zaś oscylacjami wzdłużnymi możemy obliczyć z zależności:

$$\Delta T_7^{\text{I}} = \frac{1}{2} \cdot L_w \cdot \text{tg}(\Psi) \approx \frac{1}{2} \cdot L_{pp} \cdot \text{tg}(\Psi) \quad (9)$$

gdzie:

ΔT_7^{I} – zmiana zanurzenia wywołana przechylem wzdłużnym statku [m],

L_w – długość statku w obrębie wodnicy pływania [m],

L_{pp} – długość statku pomiędzy pionami [m],

Ψ – kąt przechyłu wzdłużnego statku [°].

Przykładowe wartości rezerwy R_7 na zwiększenie zanurzenia wskutek podłużnego przegłębienia kadłuba o 1° i 2° (warunki przeciętne i ekstremalne) oraz poprzecznych przechyłów kadłuba o 1° i 5° (warunki przeciętne i ekstremalne) przedstawiono w tabeli 7 dla różnych typów statków i metod obliczeń.

Rezerwa R_8 na przegłębienie rufy jednostki pływającej będącej w ruchu

W omawianym akwenu otwartym płytkowodnym z naturalnie ukształtowanym dnem przy sumarycznej rezerwie nawigacyjnej głębokości wartość poprawki R_8 można pominąć.

Tabela 7. Przykładowe wartości rezerwy R_7 na zwiększenie zanurzenia wskutek podłużnego przegięcia kadłuba R_7^I o 1° (warunki przeciętne) i 2° (warunki ekstremalne) oraz poprzecznych przechyłów kadłuba R_7^{II} odpowiednio o 1° (warunki przeciętne) i 5° (warunki ekstremalne) (oprac. własne)

Table 7. The value of reserve R_7 for increasing the draught of the vessel due to trim (pitch) R_7^I about 1° in the average weather condition and 2° in extreme weather condition and due to list (roll) R_7^{II} about 1° in the average weather condition and 5° in extreme weather condition. The value is established for the different types of ships (prepared by author)

| Typ jednostki | R_7^I [m] | | R_7^{II} [m] | | R_7 [m] | |
|---|-------------|------|----------------|------|-----------|-------|
| | 1° | 2° | 1° | 5° | 1°/1° | 2°/5° |
| Wartości przegięcia podłużnego i przechyłów poprzecznych | | | | | | |
| Metoda 1 według zależności (8) i (9) z opracowania | | | | | | |
| Masowiec ($L = 270$ m, $B = 42$ m, $T = 15$ m, $C_B = 0,85$) | 2,36 | 4,71 | 0,36 | 1,77 | 2,36 | 4,71 |
| Kontenerowiec ($L = 275$ m, $B = 32$ m, $T = 13,2$ m, $C_B = 0,7$) | 2,40 | 4,80 | 0,28 | 1,34 | 2,40 | 4,80 |
| Prom pasażerski ($L = 140$ m, $B = 16$ m, $T = 7,5$ m, $C_B = 0,65$) | 1,22 | 2,44 | 0,14 | 0,67 | 1,22 | 2,44 |
| LNG ($L = 280$ m, $B = 43$ m, $T = 12,3$ m, $C_B = 0,746$) | 2,44 | 4,89 | 0,37 | 1,83 | 2,44 | 4,89 |
| Metoda 2 według zależności (6) i (7) ale nie mniej niż 0,15 m zalecana w [11] | | | | | | |
| Masowiec ($L = 270$ m, $B = 42$ m, $T = 15$ m, $C_B = 0,85$) | – | 0,43 | – | 0,34 | – | 0,43 |
| Kontenerowiec ($L = 275$ m, $B = 32$ m, $T = 13,2$ m, $C_B = 0,7$) | – | 0,44 | – | 0,26 | – | 0,44 |
| Prom pasażerski ($L = 140$ m, $B = 16$ m, $T = 7,5$ m, $C_B = 0,65$) | – | 0,22 | – | 0,13 | – | 0,22 |
| LNG ($L = 280$ m, $B = 43$ m, $T = 12,3$ m, $C_B = 0,746$) | – | 0,45 | – | 0,34 | – | 0,45 |

Rezerwa R_9 na osiadanie całej jednostki pływającej będącej w ruchu

Istnieje wiele metod na obliczenie rezerwy R_9 na osiadanie statku w ruchu. W praktyce jednak najczęściej do określenia osiadania statku w ruchu stosuje się jedną z trzech metod:

1) metodę Barrassa na osiadanie statku w akwencie:

- a) dokładną (metoda 1) z ograniczeniem metody: $0,5 \leq C_B \leq 0,9$;
 $0 \leq t/L \leq 0,005$; $1,1 \leq h/T \leq 1,4$:

$$R_9 = \frac{1}{30} \cdot C_B \cdot \left(\frac{BT}{bh - BT} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot v^{2,08} \quad [\text{m}] \quad (10)$$

b) uproszczoną (metoda 2) dla:

- akwenów płytkich (z ograniczeniem metody: $1,1 \leq h/T \leq 1,2$):

$$R_9 = 0,01 \cdot C_B \cdot v^2 \quad [\text{m}] \quad (11)$$

- kanałów żeglownych (z ograniczeniem metody: $0,06 \leq BT/bh \leq 0,3$):

$$R_9 = 0,02 \cdot C_B \cdot v^2 \quad [\text{m}] \quad (12)$$

2) metodę Eryuzlu i Haussera na osiadanie statku w akwencie (metoda 3):

$$R_9 = 0,113 \cdot B \cdot \left(\frac{h}{T} \right)^{-0,27} \cdot \left(\frac{0,514 \cdot v}{\sqrt{g \cdot h}} \right)^{1,8} \quad [\text{m}] \quad (13)$$

(ograniczenia metody: $C_B \geq 0,7$; $1,08 \leq h/T \leq 2,78$);

3) metodę Soukhomela i Zassa na osiadanie statku w akwenu (metoda 4):

$$R_9 = l \cdot \left[0,049047542 \cdot v^2 \cdot \sqrt{\frac{T}{h}} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^{-1,11} \right] \quad [\text{m}] \quad (14)$$

(ograniczenia metody: akwen płytki nieograniczony; $3,5 \leq L/B \leq 9$).

gdzie:

- v – prędkość statku w węzłach [w],
- B, L, T, C_B – parametry statku: szerokość B [m], długość L [m], zanurzenie T [m],
- C_B – współczynnik pełnotliwości kadłuba,
- b, h, h_f – parametry akwenu: głębokość h [m], szerokość b [m], wysokość fali h_f [m],
- l – współczynnik korekcyjny zależny od stosunku długości statku L do jego szerokości B .

Tabela 8. Wartości liczbowe współczynnika l ze wzoru (14) w funkcji długości L i szerokości B statku

Table 8. Relation of numeral coefficient (factor l) from formula (14) and ship's length L and ship's beam B

| $7 \leq L/B \leq 9$ | $5 \leq L/B < 7$ | $3,5 \leq L/B < 5$ |
|---------------------|------------------|--------------------|
| 1,10 | 1,25 | 1,50 |

Przykładowe wartości osiadania statku w ruchu (rezerwa R_9) obliczone różnymi metodami dla przykładowych statków przedstawiono w tabeli 9. W obliczeniach przyjęto akwen płytki nieograniczony pod względem szerokości (płytkowodzie) o głębokości minimalnej $h = 16$ m i szerokości minimalnej $b = 500$ m. W rozważaniach przyjęto statki podążające przez akwen spłycony z prędkością odpowiednio 5 oraz 10 w.

Tabela 9. Przykładowe wartości rezerwy R_9 na osiadanie statku w ruchu obliczonej różnymi metodami dla przykładowych statków handlowych podążających w akwenu spłyconym ($h = 16$ m, $b = 500$ m) tuż nad rurociągiem Nord Stream z prędkością 5 węzłów i 10 węzłów (oprac. własne)

Table 9. The value of ship's squat (reserve R_9) estimated by means of different formulae for the different types of the vessels proceeding with 5 knot and 10 knot speed in the shallow water above Nord Stream line in the area with depth $h = 16,0$ m and wide $b = 500$ m (prepared by author)

| Metoda obliczeń | Metoda 1 | | Metoda 2 | | Metoda 3 | | Metoda 4 | |
|---|---|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| Prędkość statku | 5 w | 10 w | 5 w | 10 w | 5 w | 10 w | 5 w | 10 w |
| Typ jednostki i jej gabaryty ($L \times B \times T \times C_B$) | Wartość rezerwy na osiadanie statku w ruchu R_9 [m] | | | | | | | |
| Masowiec (270 m × 42,0 m × 15 m × 0,85) | 0,16 | 0,66 | 0,21 | 0,85 | 0,27 | 0,94 | 0,17 | 0,66 |
| Kontenerowiec (275 m × 32 m × 13,2 m × 0,7) | 0,10 | 0,41 | 0,18 | 0,70 | 0,20 | 0,69 | 0,11 | 0,45 |
| Prom pasażerski (140 m × 16 m × 7,5 m × 0,65) | 0,04 | 0,16 | 0,16 | 0,65 | 0,09 | 0,30 | 0,08 | 0,33 |
| LNG (280 m × 43 m × 12,3 m × 0,746) | 0,12 | 0,51 | 0,19 | 0,75 | 0,26 | 0,91 | 0,15 | 0,59 |

Tabela 10. Przykładowe wartości poszczególnych składników sumarycznej rezerwy nawigacyjnej głębokości R_t określone dla różnych typów statku i różnych warunków hydrometeorologicznych w akwenu oraz maksymalne wartości zanurzenia statku obliczone według zależności przy założeniu, że głębokość techniczna akwenu wynosi 16 m, a fala wiatrowa nie przekracza wysokości 1 m i długości 40 m dla warunków przeciętnych oraz 3 m i długości 100 m dla warunków pogorszonych. Przy opracowaniu rezerwy R_7 uwzględniono zwiększenie zanurzenia statku wskutek podłużnego przegłębienia kadłuba R_7^I o 1° (warunki przeciętne) i 2° (warunki ekstremalne) oraz poprzecznych przechyłów kadłuba R_7^{II} odpowiednio o 1° (warunki przeciętne) i 5° (warunki ekstremalne) (oprac. własne)

Table 10. The value of maximum ship's draught T_c in shallow water by means of navigational reserve of depth R_t as a sum of all parts and factors from R_1 to R_9 estimated for the different types of vessels proceeding with 10 knot and 5 knot speed in the area, where the technical depth is 16,0 m and wind waves are less than 1 m high and 40 m long in the average weather conditions and 3 m high and 100 m long in extreme weather conditions. What is presented is the value of reserve R_7 for increasing the draught of the vessel due to trim (pitch) R_7^I about 1° in the normal weather condition and 2° in extreme weather condition and due to list (roll) R_7^{II} about 1° in the normal weather condition and 5° in extreme weather conditions (prepared by author)

| Warunki hydrometeorologiczne przeciętne ($h_f = 1$ m), prędkość przejścia 10 węzłów | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Typ jednostki i jej gabaryty ($L \times B \times T$; C_a) | R_1 [m] | R_2 [m] | R_3 [m] | R_4 [m] | R_5 [m] | R_6 [m] | R_7 [m] | R_8 [m] | R_9 [m] | R_t [m] | T_c [m] |
| Masowiec (270 m × 42 m × 15 m × 0,85) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,38 | 2,36 | 0 | 0,85 | 5,90 | 10,10 |
| Kontenerowiec (275 m × 32 m × 13,2 m × 0,7) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,33 | 2,40 | 0 | 0,70 | 5,74 | 10,26 |
| Prom pasażerski (140 m × 16 m × 7,5 m × 0,65) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,19 | 1,22 | 0 | 0,65 | 4,37 | 11,63 |
| LNG (280 m × 43 m × 12,3 m × 0,746) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,31 | 2,44 | 0 | 0,75 | 5,81 | 10,19 |
| Ekstremalne warunki hydrometeorologiczne ($h_f = 3$ m), prędkość przejścia 5 węzłów | | | | | | | | | | | |
| Typ jednostki i jej gabaryty ($L \times B \times T \times C_a$) | R_1 [m] | R_2 [m] | R_3 [m] | R_4 [m] | R_5 [m] | R_6 [m] | R_7 [m] | R_8 [m] | R_9 [m] | R_t [m] | T_c [m] |
| Masowiec (270 m × 42 m × 15 m × 0,85) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,38 | 4,71 | 0 | 0,21 | 9,73 | 6,27 |
| Kontenerowiec (275 m × 32 m × 13,2 m × 0,7) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,33 | 4,80 | 0 | 0,18 | 9,74 | 6,26 |
| Prom pasażerski (140 m × 16 m × 7,5 m × 0,65) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,19 | 2,44 | 0 | 0,16 | 7,22 | 8,78 |
| LNG (280 m × 43 m × 12,3 m × 0,746) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,31 | 4,89 | 0 | 0,19 | 9,82 | 6,18 |

Reasumując powyższe, należy stwierdzić, że sumaryczny zapas wody pod stępką R_t określony jako suma składowych rezerwy nawigacyjnej głębokości R_1 do R_9 dla badanego północnego toru podejściowego do portu Świnoujście powinien w zależności od typu jednostki i panujących warunków hydrometeorologicznych w akwenu od wartości 4,37 m do wartości 5,45 m. Stąd maksymalne dopuszczalne zanurzenie statku, który mógłby bezpiecznie nawigować w zależności od typu jednostki i panujących warunków hydrometeorologicznych w akwenu (w rozważaniach przyjęto falę od 1 do 3 m wysokości oraz akwen o głębokości technicznej $h = 16$ m), powinno wynosić od 10,55 m do 12,63 m. W przeciwnym wypadku kryterium ustalone w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [11] nie zostanie spełnione (patrz wyniki opracowane w tabeli 10 dla różnych typów statku oraz prędkości przejścia 10 w przy przeciętnych warunkach hydrometeorologicznych w akwenu oraz prędkości 5 w przy pogorszonych i ekstremalnych warunkach hydrometeorologicznych w akwenu).

Tabela 11. Przykładowe wartości poszczególnych składników sumarycznej rezerwy nawigacyjnej głębokości R_7 określone dla różnych typów statku i różnych warunków hydrometeorologicznych w akwenu oraz maksymalne wartości zanurzenia statku obliczone według zależności przy założeniu, że głębokość techniczna akwenu wynosi 16 m, a fala wiatrowa nie przekracza wysokości 1 m i długości 40 m dla warunków przeciętnych oraz 3 m i długości 100 m dla warunków pogorszonych.

Przy opracowaniu rezerwy R_7 uwzględniono wytyczne z [11] (oprac. własne)

Table 11. The value of maximum ship's draught T_c in shallow water estimated for the different type of vessels by means of navigational reserve of depth R_t as a sum of all parts and factors from R_1 to R_9 estimated for the different type of vessel proceeding with 10knot and 5 knot speed in the area, where the technical depth is 16,0 m and wind waves are less than 1 m high and 40 m long in the average weather conditions and 3 m high and 100 m long in bad weather conditions. What is presented is the value of reserve R_7 estimated according to [11] (prepared by author)

| Warunki hydrometeorologiczne przeciętne ($h_f = 1$ m), prędkość przejścia 10 węzłów, R_7 obliczone metodą 2 | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Typ jednostki i jej gabaryty ($L \times B \times T; C_B$) | R_1 [m] | R_2 [m] | R_3 [m] | R_4 [m] | R_5 [m] | R_6 [m] | R_7 [m] | R_8 [m] | R_9 [m] | R_t [m] | T_c [m] |
| Masowiec (270 m × 42 m × 15 m × 0,85) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,38 | 0,43 | 0 | 0,85 | 3,97 | 12,03 |
| Kontenerowiec (275 m × 32 m × 13,2 m × 0,7) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,33 | 0,44 | 0 | 0,70 | 3,78 | 12,22 |
| Prom pasażerski (140 m × 16 m × 7,5 m × 0,65) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,19 | 0,22 | 0 | 0,65 | 3,37 | 12,63 |
| LNG (280 m × 43 m × 12,3 m × 0,746) | 0,35 | 1,00 | 0,30 | 0 | 0,66 | 0,31 | 0,45 | 0 | 0,75 | 3,82 | 12,18 |
| Pogorszone warunki hydrometeorologiczne ($h_f = 3$ m), prędkość przejścia 5 węzłów, R_7 obliczone metodą 2 | | | | | | | | | | | |
| Typ jednostki i jej gabaryty ($L \times B \times T \times C_B$) | R_1 [m] | R_2 [m] | R_3 [m] | R_4 [m] | R_5 [m] | R_6 [m] | R_7 [m] | R_8 [m] | R_9 [m] | R_t [m] | T_c [m] |
| Masowiec (270 m × 42,0 m × 15 m × 0,85) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,38 | 0,43 | 0 | 0,21 | 5,45 | 10,55 |
| Kontenerowiec (275 m × 32 m × 13,2 m × 0,7) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,33 | 0,44 | 0 | 0,18 | 5,38 | 10,62 |
| Prom pasażerski (140 m × 16 m × 7,5 m × 0,65) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,19 | 0,22 | 0 | 0,16 | 5,00 | 11,00 |
| LNG (280 m × 43 m × 12,3 m × 0,746) | 0,35 | 1,50 | 0,60 | 0 | 1,98 | 0,31 | 0,45 | 0 | 0,19 | 5,38 | 10,62 |

LITERATURA

- Blomgren S., Larson M., Hanson H., *Numerical Modeling of the Wave Climate in the Southern Baltic Sea*, Journal of Coastal Research, CERF, Spring 2001.
- Dynamics of Coastal Waters and their modelling*, J. Sundermann (ed.), Institut für Meereskunde, Hamburg 2005.
- Gucma S., Jagniszczak I., *Nawigacja morską dla kapitanów*, Foka, Szczecin 1997.
- IHO standards for Hydrographic surveys (SP44), Monaco 2008.
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, *Warunki środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku w 2001 roku*, Gdynia 2004.
- Intersea I, Intrasea II*, materiały Urzędu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2008.
- Joseph M., *Assesing the Precision of Depth Data*, International Hydrographic Review, LXVII Monaco, July 1991.
- Jurdziński M., *Planowanie nawigacji w żegludze przybrzeżnej*, Fundacja Rozwoju WSM w Gdyni, Gdynia 1998.

9. Nowicki A., *Wiedza o manewrowaniu statkami morskimi*, Trademar, Gdynia 1999.
10. Paszkiewicz C., *Falowanie wiatrowe Morza Bałtyckiego*, rozprawa habilitacyjna, Polska Akademia Nauk, Komitet Badań Morza, PAN, Warszawa 1989.
11. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 1 czerwca 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie.
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 r. w sprawie dróg wodnych.
13. Rutkowski G., *Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2000.
14. Rutkowski G., *Zastosowanie modelu domeny do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego statków poruszających się w akwenach ograniczonych*, Politechnika Warszawska, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001.
15. Rutkowski G., Królikowski A., *Ocena głębokości toru podejściowego na południe od Ławicy Słupskiej w aspekcie obsługi jednostek o maksymalnych gabarytach – metoda rozbudowana*, Zeszyty Naukowe AMW, 2010, nr 1 (180).
16. Wiśniewski B., *Zapas wody pod stępką dużych statków na Zatoce Perskiej*, Technika i Gospodarka Morska, 1982, nr 3.

EXTENDED METHOD FOR ESTIMATING MAXIMUM SHIP'S DRAUGHT WHEN NAVIGATING IN SHALLOW WATER ON THE NORTHERN FAIRWAY TO PORT OF ŚWINOUJŚCIE FROM THE POSITION OF NORD STREAM PIPELINE TO LNG TERMINAL IN THE ASPECT OF THE VESSELS WITH MAXIMUM DIMENSIONS AND DRAUGHT

Summary

This paper considers analysis of maximum draught of a merchant vessel, which can maintain safety of navigation in different exterior condition (average and extreme) on shallow water on the northern fairway to port of Świnoujście from the position of NORD STREAM pipeline to LNG Terminal and keep required under keel clearance, i.e. navigational reserve of depth. To depict maximum draught of a vessel we use practical method which incorporates the risk of navigational and three-dimensional model of ship's domain. Results are compared with the guidelines published by the Decree of Minister of Transport and Maritime Economy from 01.06.1998 about technical conditions, which should be met by hydro mechanical sea structures, which operate vessels with the given particulars.