

**Grzegorz Rutkowski**  
**Akademia Morska w Gdyni**

---

**Andrzej Królikowski**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

**OCENA GŁĘBOKOŚCI TORU PODEJŚCIOWEGO  
NA POŁUDNIE OD ŁAWICY SŁUPSKIEJ  
W ASPEKTCIE OBSŁUGI  
JEDNOSTEK O MAKSYMALNYCH GABARYTACH  
— METODA ROZBUDOWANA**

**STRESZCZENIE**

Artykuł obejmuje ocenę maksymalnego zanurzenia statku handlowego, który przy działaniu różnych warunków zewnętrznych (przeciętnych i ekstremalnych) mógłby bezpiecznie prowadzić żeglugę (manewrować) w Rynnie Słupskiej, zachowując przy tym wymagany zapas wody pod stępką, czyli minimalną rezerwę nawigacyjną głębokości. Do określenia maksymalnego zanurzenia statku posłużymy się metodą praktyczną, wykorzystując definicję ryzyka nawigacyjnego oraz model przestrzenny domeny statku. Otrzymane wyniki porównamy z wytycznymi *Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 01.06.1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne obsługujące statki o określonych gabarytach*.

Słowa kluczowe:

tor podejściowy, Rynna Słupska, maksymalne zanurzenie statku, rezerwa nawigacyjna głębokości, budowle hydrotechniczne.

Ocenę rezerwy nawigacyjnej głębokości (zapasu wody pod stępką) dokonano z godnie wytycznymi *Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 01.06.1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne obsługujące statki o określonych gabarytach*. W obliczeniach uwzględniono działanie różnych zakłóceń zewnętrznych (przeciętnych i ekstremalnych) dla przykładowych statków handlowych, a w szczególności:

- jednostki typu VLCC lub masowca o gabarytach: długość  $L = 350,0$  m, szerokość  $B = 60,0$  m, zanurzenie na Bałtyku  $T_D = T_R = 15,00$  m, współczynnik pełnotliwości kadłuba  $C_B = 0,85$ ;
- kontenerowca o gabarytach: długość  $L = 250,0$  m, szerokość  $B = 32,0$  m, zanurzenie  $T_D = T_R = 12,00$  m, współczynnik pełnotliwości kadłuba  $C_B = 0,70$ ;
- promu pasażerskiego o gabarytach: długość  $L = 140,0$  m, szerokość  $B = 16,0$  m, zanurzenie  $T_D = T_R = 7,50$  m, współczynnik pełnotliwości kadłuba  $C_B = 0,65$ ;
- kutra rybackiego o gabarytach: długość  $LOA = 40,0$  m, szerokość  $B = 8,5$  m, zanurzenie  $T_D = T_R = 4,00$  m, współczynnik pełnotliwości kadłuba  $C_B = 0,63$ .

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

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1998 r.* przy ustalaniu sumarycznego zapasu głębokości  $R_t$  należy wziąć pod uwagę sumę dziewięciu elementów składowych.

## 1.

### **Rezerwy $R_1$ 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 roku następujące standardy ( $P = 95,4\%$ ):

0,25–0,34 m	dla	$H = 0–30$ m;
0,63–1,40 m	dla	$H = 30–100$ m.

Od stycznia 1991 roku 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 akwenu Rynny Słupskiej o głębokościach średnich 20 m daje błąd rzędu 0,53 m.

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

## 2.

**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**

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 Rynny Słupskiej dno jest twarde, piaszczyste z licznymi głazami), z małą gęstością sondażu wartość rezerwy  $R_2$  należy przyjmować od 1,00 m do 1,50 m.

## 3.

**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**

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 Rynny Słupskiej, jako rezerwę nawigacyjną  $R_3$  można przyjąć wartość 0,30 m (za [5]). Należy jednak pamiętać, iż obserwacje wieloletnie stanu wody w akwenu prowadzone w pobliskich stacjach pomiarowych w Ustce i Łebie potwierdziły dość

znaczne (do 0,60 m) obniżenia stanu wody od poziomu wody średniej [14]. Zmiany te obserwowane są również w skali roku. Przy najbardziej niekorzystnych warunkach hydrometeorologicznych wartość rezerwy nawigacyjnej  $R_3$  należałoby zatem zwiększyć do wartości 0,60 m.

#### 4.

#### **Rezerwy $R_4$ na spłylenie dna akwenu, umożliwiającej pełną eksploatację akwenu w okresie pomiędzy podczyszczeniowymi robotami czerpalnymi**

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.

#### 5.

#### **Rezerwy $R_5$ 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  $\Delta T_5$  dla statku nieruchomego na fali jest zależność opracowana przez I. W. Danda i A. M. Fergusona (*The Squat of Full Ships in Shallow Water*, 'The Naval Architect', 1973, No 3), podana przez A. Nowickiego, autora książki *Wiedza o manewrowaniu statkami morskimi* (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  $\lambda$  — długość fali.

Dla statków w ruchu wartość rezerwy należy zwiększyć [7] zależnie od prędkości  $v$ :

- 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 [8]) metoda L. E. van Houtena (metoda 2.). Została podana na XXI Międzynarodowym Kongresie Żegluga w Sztokholmie w 1965 roku 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 liczyć się 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

Kierunek wiatru $w = 18 \text{ m/s}$	ELEMENTY FALI			ZMNIEJSZENIE ZAPASU WODY POD STĘPKĄ [m]							
	$h_{5\%}$ [m]	$\lambda_{5\%}$ [m]	$\tau_{5\%}$ [s]	Dla statku: $L = 232,5 \text{ m}; B = 32,2 \text{ m}; T = 12,80 \text{ m}$				Dla statku: $L = 197,0 \text{ m}; B = 24,0 \text{ m}; T = 12,00 \text{ m}$			
				Odcinek I		Odcinek II		Odcinek I		Odcinek II	
				N	4,80	87	10,2	3,10 m	0,242T	4,32 m	0,338T
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  
 $h_{5\%} = 1,95 h_f; \lambda_{5\%} = 1,82 \cdot \lambda; \tau_{5\%} = 1,61 \cdot \tau$

Źródło: B. Wiśniewski, *Zapas wody pod stępką dużych statków na Zatoce Pomorskiej*, „Technika i Gospodarka Morska”, 1982, nr 3.

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 tankowców 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).

Tabela 2. Zmniejszenie zapasu wody pod stępką wywołane falowaniem akwenu według zaleceń Europejskiej Organizacji Pilotów Morskich

PARAMETRY STATKU	FAŁA		KĄT KURSOWY FAŁI											
	Wysokość [m]	Okres [s]	000°			090°			045° lub 135°					
			Kołysanie wzdłużne [m]	Nurzanie [m]	Razem [m]	Kołysanie poprzeczne [m]	Nurzanie [m]	Razem [m]	Kołysanie wzdłużne [m]	Kołysanie poprzeczne [m]	Nurzanie [m]	Razem dziób lub rufa [m]	Śródkręcie [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

Źródło: A. Nowicki, *Wiedza o manewrowaniu statkami morskimi*, Wydawnictwo Trademar, Gdynia 1999.

Powyższa tabela podaje 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, iż 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 przypadku 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  $\delta_p(\Delta Z)_{25}$ , 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  $\delta_p(\Delta Z)_5$ :

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

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, na przykład 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.

Dla przykładu, 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 minimalną rezerwę na falowanie na akwenie otwartym na prostoliniowym torze wodnym niewymagającym pogłębienia przy fali do 3,0 m ustalili jako wartość do 40% maksymalnego zanurzenia statku (metoda 5.).

G. 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 ( $\lambda$ ,  $h_f$ ,  $q$ ).

Tabela 3. Wartości liczbowe współczynnika  $m$  w zależności od parametrów statku ( $v, B, L, C_B$ ) oraz parametrów fali ( $\lambda, h_f, q$ )

$m$	Dla fali z dziobu lub rufy ( $q \approx 000^\circ$ lub $180^\circ$ )	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 $B < 0,5 \cdot \lambda$

Źródło: G. Rutkowski, Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Warszawa 2000.

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, iż każdy statek podąża wzdłuż akwenu spłyconego na południe od Ławicy Słupskiej 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 3,0 m. W rozważaniach przyjęto falę o długości do 150 m.

Ze względu na duże rozbieżności wyników do dalszych rozważań jako rezerwy  $R_5$  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 za zbyt ogólnikowe i nieuwzględniające wzajemnych relacji pomiędzy parametrami statku i fali.

Tabela 4. Przykładowe wartości rezerwy nawigacyjnej głębokości  $R_5$  na falowanie wody obliczone przedstawionymi powyżej metodami dla różnych typów statków dla akwenu spłyconego (rynny) na południe od Ławicy Słupskiej; w obliczeniach przyjęto, że każda jednostka podąża wzdłuż toru wodnego z prędkością 10 węzłów w kierunku prosto pod falę o wysokości 3,0 m i długości 150 m

Typ jednostki	Wartość rezerwy $R_5$ [m] na falowanie wody obliczona różnymi metodami					
VLCC (350 m x 60 m x 15 m x 0,85)	1,00	3,15	2,38	2,25	6,00	1,98
Kontenerowiec (250 m x 32 m x 12 m x 0,70)	1,50	2,52	2,62	1,80	4,80	1,98
Prom pasażerski (140 m x 16 m x 7,5 m x 0,65)	2,00	1,58	2,96	1,13	3,00	2,23
Kuter rybacki (40 m x 8,5 m x 4 m x 0,63)	2,00	0,84	-	0,60	1,60	2,48

Źródło: opracował G. Rutkowski.

Do określenia maksymalnych oraz przeciętnych parametrów fali spotykanych w obszarze Rynny Słupskiej posłużono się badaniami Czesława Paszkiewicza [9], pracą zbiorową pod redakcją J. Sundermann [2] oraz opracowaniem Stena Blomgrena, Magnusa Larsona i Hansa Hansona [1].



Tabela 5. Częstość występowania w % wysokości fali  $h_{1\%}$  na Południowym Bałtyku w strefie przybrzeżnej Rozewia i Ustki w poszczególnych miesiącach roku

ROZEWIE	Wysokość fali $h_{1\%}$ [m] \ miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		0 m–1,0 m	61	60	47	78	82	79	80	75	59	81	60
	1,1 m–2,0 m	25	25	43	20	13	19	19	23	32	13	24	28
	2,1 m–3,0 m	8	6	8	2	4	1	1	2	8	5	10	7
	3,1 m–5,0 m	5	6	1	–	1	1	–	–	1	1	6	1
	$h_{1\%} > 5,0$ m	1	3	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
USTKA	Wysokość fali $h_{1\%}$ [m] \ miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		0 m–1,0 m	68	56	68	77	80	70	74	64	68	85	76
	1,1 m–2,0 m	23	33	20	18	19	21	22	30	29	14	22	18
	2,1 m–3,0 m	8	8	10	5	1	8	4	6	2	1	2	6
	3,1 m–5,0 m	1	2	2	–	–	1	–	–	1	–	–	2
	$h_{1\%} > 5,0$ m	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Źródło: Warunki środowiskowe polskiej strefy Południowego Bałtyku w 2001 roku, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia 2004.

Wieloletnie obserwacje fal u wybrzeży Polski w obrębie Rynny Słupskiej w południowej części Bałtyku potwierdzają, iż okresy najczęstszego występowania sztormów występują w okresie zimowym od listopada do lutego, a morze spokojne występuje w okresie letnim od maja do września. Maksymalne prędkości wiatru w badanym akwenu osiągały wartość do 32 m/s. Maksymalne wysokości fal obserwowano w okresach zimowych. Osiągały one wartość do 7 m w części zachodniej wybrzeża i do 8 m w jego części wschodniej.

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. W przeważającej większości obserwuje się jednak w akwenu fale mniejsze (do 3,0 m) i krótsze (do 40 m). Aż 90,85% fal w części wschodniej i 96,53% fal w części zachodniej stanowiły te o wysokości  $h_{5\%} < 1,5$  m. Fale ekstremalne o wysokości  $h_{5\%} > 3,00$  m stanowiły mniej niż 0,3% w części wschodniej wybrzeża i mniej niż 0,01% wszystkich fal obserwowanych w jego części zachodniej [3].

## 6.

**Rezerwy  $R_6$  na zwiększenie zanurzenia jednostki pływającej w wodzie słodkiej polskich obszarów morskich, obliczanej 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  $\gamma_1 = 1,00525 \text{ g/cm}^3$  do  $\gamma_2 = 1,00250 \text{ g/cm}^3$ , co w stosunku do gęstości wody określonej dla Morza Północnego ( $\gamma_3 = 1,025 \text{ g/cm}^3$ ) 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

Typ jednostki	$R_6$ [m]
VLCC ( $L = 350 \text{ m}$ , $B = 60 \text{ m}$ , $T = 15 \text{ m}$ , $C_B = 0,85$ )	0,38
Kontenerowiec ( $L = 250 \text{ m}$ , $B = 32 \text{ m}$ , $T = 12 \text{ m}$ , $C_B = 0,70$ )	0,30
Prom pasażerski ( $L = 140 \text{ m}$ , $B = 16 \text{ m}$ , $T = 7,5 \text{ m}$ , $C_B = 0,65$ )	0,19
Kuter rybacki ( $L = 40 \text{ m}$ , $B = 8,5 \text{ m}$ , $T = 4 \text{ m}$ , $C_B = 0,63$ )	0,10

Źródło: opracował G. Rutkowski.

## 7.

**Rezerwy  $R_7$ , wyrażonej w metrach, na podłużne przegłębienie kadłuba (do  $2^\circ$ ) i przechyły boczne kadłuba (do  $5^\circ$ ) jednostek pływających, obliczane 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

$$R_7^{II} = 0,008 \cdot B_c, \quad (7)$$

gdzie:

$B_c$  — całkowita szerokość kadłuba statku, [m].

Do obliczeń głębokości wody przyjmuje się wartość rezerwy  $R_7$  jako większą z dwóch wartości określonych (a) i (b), lecz nie mniejszą niż  $R_7 = 0,15 \text{ m}$ .

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

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

gdzie:

- $\Delta T_7''$  — zmiana zanurzenia wywołana przechyłem bocznym statku [m];  
 $T_M$  — średnie zanurzenie statku [m];  
 $\theta$  — kąt bocznego przechyłu statku [°];  
 $B$  — szerokość statku [m].

Wzrost zanurzenia statku wywołany oscylacjami wzdłużnymi możemy obliczyć z zależności:

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

gdzie:

- $\Delta T_7'$  — zmiana zanurzenia wywołana przechyłem wzdłużnym statku [m];  
 $L_w$  — długość statku w obrębie wodnicy pływania [m];  
 $L_{pp}$  — długość statku pomiędzy pionami [m];  
 $\Psi$  — kąt przechyłu wzdłużnego statku [°];

Tabela 7. Przykładowe wartości rezerwy  $R_7$  na zwiększenie zanurzenia wskutek podłużnego przegłębienia kadłuba  $R_7'$  o 1° (warunki przeciętne) i 2° (warunki ekstremalne) oraz poprzecznych przechyłów kadłuba  $R_7''$  odpowiednio o 1° (warunki przeciętne) i 5° (warunki ekstremalne)

Lp.	Typ jednostki	$R_7'$ [m]		$R_7''$ [m]		$R_7''$ [m]	
	Wartości przegłębienia podłużnego i przechyłów poprzecznych	1°	2°	1°	5°	1°/1°	2°/5°
Metoda 1. według zależności (8) i (9) z opracowania							
1.	VLCC ( $L = 350$ m, $B = 60$ m, $T = 15$ m, $C_B = 0,85$ )	3,05	6,11	0,52	2,56	3,05	6,11
2.	Kontenerowiec ( $L = 250$ m, $B = 32$ m, $T = 12$ m, $C_B = 0,70$ )	2,18	4,37	0,28	1,35	2,18	4,37
3.	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
4.	Kuter rybacki ( $L = 40$ m, $B = 8,5$ m, $T = 4$ m, $C_B = 0,63$ )	0,35	0,70	0,07	0,36	0,35	0,70
Metoda 2. według zależności (6) i (7), ale nie mniej niż 0,15 m zalecana w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 01.06.1998 r.							
1.	VLCC ( $L = 350$ m, $B = 60$ m, $T = 15$ m, $C_B = 0,85$ )	–	0,56	–	0,48	–	0,56
2.	Kontenerowiec ( $L = 250$ m, $B = 32$ m, $T = 12$ m, $C_B = 0,70$ )	–	0,40	–	0,26	–	0,40
3.	Prom pasażerski ( $L = 140$ m, $B = 16$ m, $T = 7,5$ m, $C_B = 0,65$ )	–	0,22	–	0,13	–	0,22
4.	Kuter rybacki ( $L = 40$ m, $B = 8,5$ m, $T = 4$ m, $C_B = 0,63$ )	–	0,06	–	0,07	–	0,15

Źródło: opracował G. Rutkowski.

8.

**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**

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

9.

**Rezerwy  $R_9$  na osiadanie całej jednostki pływającej będącej w ruchu, określanej indywidualnie w oparciu o badania modelowe i pomiary dokonywane na akwenach żeglugowych**

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 podanych niżej.

1. Metoda C. B. Barrassa na osiadanie statku w akwenie:

a) dokładna (metoda 1.)

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

z ograniczeniem metody:  $0,5 \leq C_B \leq 0,9$ ;  $0 \leq t/L \leq 0,005$ ;  $1,1 \leq H/T \leq 1,4$ ;

b) uproszczona (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. Metoda N. E. Eryuzlu i R. Haussera na osiadanie statku w akwenie (metoda 3.)

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

z ograniczeniem metody:  $C_B \geq 0,7$ ;  $1,08 \leq H/T \leq 2,78$ .

## 3. Metoda G. I. Soukhomela i V. M. Zassa na osiadanie statku w akwenu (metoda 4.)

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

z ograniczeniem 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], współczynnik pełnotliwości kadłuba  $C_B$ ;  
 $b, H, h_f$  — 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)

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

Źródło: opracował G. Rutkowski.

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  $H = 18,0$  m i szerokości minimalnej  $b = 1000$  m. W rozważaniach przyjęto statki podążające przez akwen spłycony z prędkością odpowiednio 5 oraz 10 węzłów.

Tabela 9. Przykładowe wartości rezerwy  $R_9$  na osiadanie statku w ruchu obliczonej różnymi metodami dla przykładowych statków handlowych podążających w akwenu spłyconym ( $H = 18$  m,  $b = 1000$  m) z prędkością 5 i 10 węzłów

Metoda obliczeń	Metoda 1.		Metoda 2.		Metoda 3.		Metoda 4.	
	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]							
VLCC (350 m x 60 m x 15 m x 0,85)	0,12	0,50	0,21	0,85	0,36	1,25	0,20	0,81
Kontenerowiec (250 m x 32 m x 12 m x 0,70)	0,05	0,23	—	—	0,18	0,63	0,12	0,46
Prom pasażerski (140 m x 16 m x 7,5 m x 0,65)	—	—	—	—	—	—	0,08	0,32
Kuter rybacki (40 m x 8,5 m x 4 m x 0,63)	—	—	—	—	—	—	0,16	0,64

Źródło: opracował G. Rutkowski.

Sumaryczny zapas wody pod stępką  $R_t$  określony jako suma składowych rezerwy nawigacyjnej głębokości  $R_1$  do  $R_9$  dla akwenu Rynny Słupskiej powinien

wynosić w zależności od typu jednostki i panujących warunków hydrometeorologicznych w akwenu od 4,61 m do 5,57 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 do 3,0 m wysokości i do 150 m długości), powinno wynosić od 12,43 m do 13,39 m. W przeciwnym wypadku kryterium ustalone w *Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 01.06.1998 r.* nie zostanie spełnione. W tabelach 10. i 11. opracowano wyniki dla różnych typów statków, prędkości przejścia 10 węzłów przy przeciętnych warunkach hydrometeorologicznych w akwenu oraz prędkości 5 węzłów przy gorszych i ekstremalnych warunkach hydrometeorologicznych.

Tabela 10. Przykładowe wartości poszczególnych składników sumarycznej rezerwy nawigacyjnej głębokości  $R_i$  określone dla różnych typów statków i różnych warunków hydrometeorologicznych w akwenu oraz maksymalne wartości zanurzenia statku obliczone według zależności (4), przy założeniu że głębokość techniczna odczytana z mapy wynosi 18,0 m, a fala wiatrowa nie przekracza wysokości 3,0 m i długości 150 m

Warunki hydrometeorologiczne przeciętne, prędkość przejścia 10 węzłów											
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]
VLCC (350 x 60 x 15 x 0,85)	0,35	1,00	0,30	0	1,98	0,38	0,56	0	0,81	5,38	12,62
Kontenerowiec (250 x 32 x 12 x 0,70)	0,35	1,00	0,30	0	1,98	0,30	0,40	0	0,46	4,79	13,21
Prom pasażerski (140 x 16 x 7,5 x 0,65)	0,35	1,00	0,30	0	2,23	0,19	0,22	0	0,32	4,61	13,39
Kuter rybacki (40 x 8,5 x 4 x 0,63)	0,35	1,00	0,30	0	2,48	0,10	0,15	0	0,64	5,02	12,98
Pogorszone warunki hydrometeorologiczne, prędkość przejścia 5 węzłów											
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]
VLCC (350 x 60 x 15 x 0,85)	0,35	1,50	0,60	0	1,98	0,38	0,56	0	0,20	5,57	12,43
Kontenerowiec (250 x 32 x 12 x 0,70)	0,35	1,50	0,60	0	1,98	0,30	0,40	0	0,12	5,25	12,75
Prom pasażerski (140 x 16 x 7,5 x 0,65)	0,35	1,50	0,60	0	2,23	0,19	0,22	0	0,08	5,17	12,83
Kuter rybacki (40 x 8,5 x 4 x 0,63)	0,35	1,50	0,60	0	2,48	0,10	0,15	0	0,16	5,34	12,66

Źródło: opracował G. Rutkowski.

Tabela 11. Przykładowe wartości poszczególnych składników sumarycznej rezerwy nawigacyjnej głębokości  $R_i$  określone dla ekstremalnych warunków hydrometeorologicznych w akwenu (fala do 5,00 m wysokości i do 160 m długości, głębokość akwenu 18,0 m)

Ekstremalne warunki hydrometeorologiczne, prędkość przejścia 5 węzłów											
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]
VLCC (350 x 60 x 15 x 0,85)	0,35	1,50	0,60	0	3,30	0,38	0,56	0	0,20	6,89	11,11
Kontenerowiec (250 x 32 x 12 x 0,70)	0,35	1,50	0,60	0	3,30	0,30	0,40	0	0,12	6,57	11,43
Prom pasażerski (140 x 16 x 7,5 x 0,65)	0,35	1,50	0,60	0	3,71	0,19	0,22	0	0,08	6,65	11,35
Kuter rybacki (40 x 8,5 x 4 x 0,63)	0,35	1,50	0,60	0	4,13	0,10	0,15	0	0,16	6,99	11,01

Źródło: opracował G. Rutkowski.

Należy pamiętać, że przy ekstremalnych warunkach hydrometeorologicznych w akwenie (fala do 5,00 m wysokości i do 160 m długości), które choć sporadycznie (prawdopodobieństwo wystąpienia poniżej 0,3%), to jednak mogą wystąpić w badanym rejonie, szczególnie w okresie zimowym od listopada do lutego, wartość oszacowanej rezerwy nawigacyjnej głębokości  $R$ , należałoby zwiększyć średnio o dodatkowe 1,32 m.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Blomgren S., Larson M., Hanson H., *Numerical Modeling of the Wave Climate In the Southern Baltic Sea*, 'Journal of Coastal Research', CERF, Spring 2001.
- [2] *Dynamics of Coastal Waters and their modeling*, ed. by J. Sundermann, Institut fur Meereskunde, Hamburg 2005.
- [3] Gucma S., Jagniszczak I., *Nawigacja morska dla kapitanów*, Wydawnictwo Foka, Szczecin 1997.
- [4] IHO standards for Hydrographic surveys (SP44), 6<sup>th</sup> Edition, Monaco 02.2008.
- [5] *Intersea I, Intrasea II*, materiały Urzędu Morskiego w Gdyni, 2007.
- [6] Joseph M., *Assesing the Precision of Depth Data*, 'International Hydrographic Review', July 1991, LXVII (2).
- [7] Jurdziński M., *Planowanie nawigacji w żegludze przybrzeżnej*, Fundacja Rozwoju WSM w Gdyni, 1998.
- [8] Nowicki A., *Wiedza o manewrowaniu statkami morskimi*, Wydawnictwo Trademar, Gdynia 1999.
- [9] Paszkiewicz Cz., *Falowanie wiatrowe Morza Bałtyckiego*, rozprawa habilitacyjna, Polska Akademia Nauk Komitet Badań Morza, Wydawnictwo PAN, Warszawa 1989.
- [10] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 roku w sprawie dróg wodnych*.
- [11] Rutkowski G., *Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach*, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001.
- [12] Rutkowski G., *Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Warszawa 2000.

- [13] Rutkowski G., *Zastosowanie modelu domeny do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego statków poruszających się w akwenach ograniczonych*, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001.
- [14] *Warunki środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku w 2001 roku*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia 2004.

**ESTIMATION OF APPROACH LANE'S  
DEPTH SOUTH OF SLUPSK SANDBANK  
WITH REGARD TO SERVICES PROVIDED  
FOR VESSELS OF MAXIMUM DIMENSIONS  
— EXTENDED METHOD**

**ABSTRACT**

The paper includes an analysis of maximum draught of a merchant vessel to maintain safety of navigation in different external condition (average and extreme) in Slupsk Trough and keep required under keel clearance, i.e. navigational reserve of depth. To determine the maximum draught of a vessel we use practical method which incorporates risk of navigational and three-dimensional model of ship's domain. The results obtained will be compared with guidelines published by Decree of Minister of Transport and Maritime Economy dated 01 June 1998 on technical conditions to be met by hydro mechanical marine structures which provide service for vessels of specific dimensions.

Keywords:

approach lane, Slupsk Trough, maximum draught of ship, navigational reserve of depth, marine structures.

Recenzent dr inż. Wacław Morgaś, prof. AMW