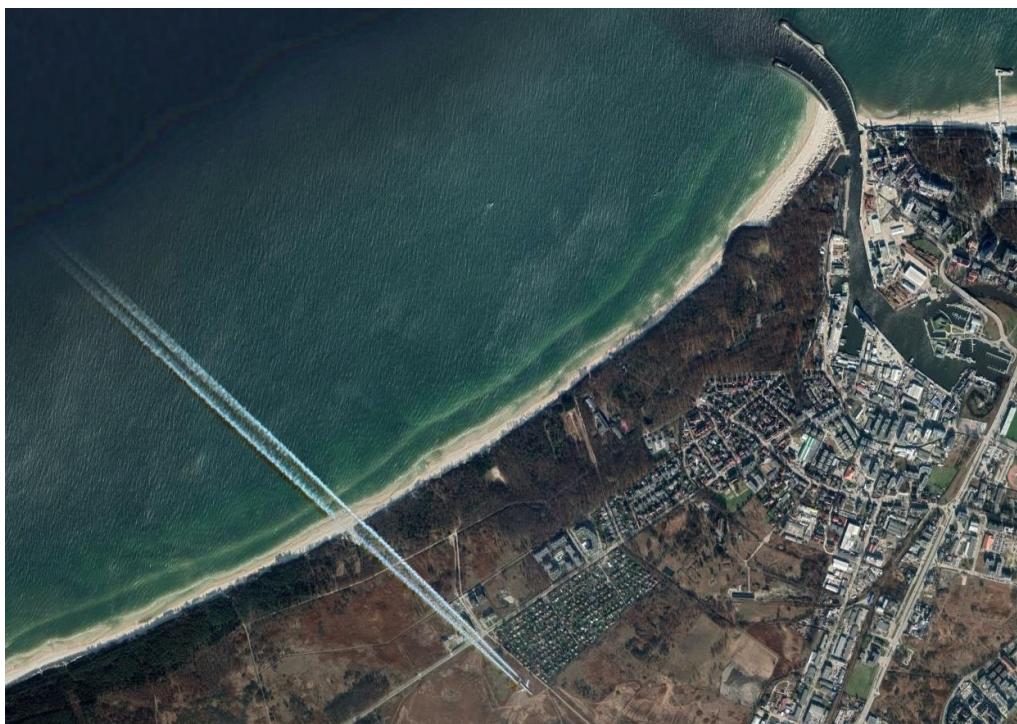




3GTech sp. z o.o.

# **Ekspertyza w sprawie możliwości rozbudowy Portu w Kołobrzegu, w tym przeprowadzenie analizy nawigacyjnej, analizy hydrotech- nicznej i analizy falowania**

## **Analiza nawigacyjna**



	Imię nazwisko	Podpis
Kierownik opracowania	prof. dr hab. inż. Lucjan Gućma	
Wykonawca części nawigacyjnej	prof. dr hab. inż. Lucjan Gućma	

### **Zleceniodawca:**

Zarząd Portu Morskiego Kołobrzeg sp. z o.o. ul. Portowa 41, 78-100 Kołobrzeg

Szczecin 17.10.2021 (wersja 4 – draft do konsultacji)

3GTech sp. z o.o.  
ul. Boh. Warszawy 21  
70-372 Szczecin

## Spis treści

Spis treści.....	2
1. Cel opracowania .....	3
2. Wybór statku maksymalnego dla Wariantu A.....	4
2.1. Drobnicowiec .....	4
2.2. Ro-Ro .....	4
2.3. Jednostka do obsługi FEW .....	5
3. Przyjęte warunki hydrometeorologiczne .....	5
4. Parametry dróg wodnych .....	5
4.1. Kanał portowy .....	5
4.2. Obrotnica .....	6
5. Zapas wody pod stępka dla jednostki maksymalnej .....	6
6. Parametry dróg wodnych dla Wariantu A .....	8
6.1. Poprzednie badania symulacyjne (2009 r. i 2016 r.).....	8
6.1.1. Badania z 2016 r.....	8
6.1.2. Badania z 2009 r.....	8
6.1.3. Podsumowanie przeprowadzonych badań symulacyjnych .....	9
6.2. Określenie szerokości metodą PIANC .....	9
6.3. Określenie szerokości metodą ROM .....	10
6.4. Określenie szerokości metodą Kanadyjską uproszczoną .....	11
6.5. Parametry przekroju kanału do przekroju owręża statku.....	12
6.6. Podsumowanie – szerokości dróg wodnych dla Wariantu A .....	12
6.7. Obrotnica dla jednostki L=130m .....	13
6.7.1. Określenie energii i parametrów systemu dalb wspomagających obrót .....	14
7. Parametry dróg wodnych dla Wariantu B .....	14
8. Wnioski .....	16
Bibliografia.....	16

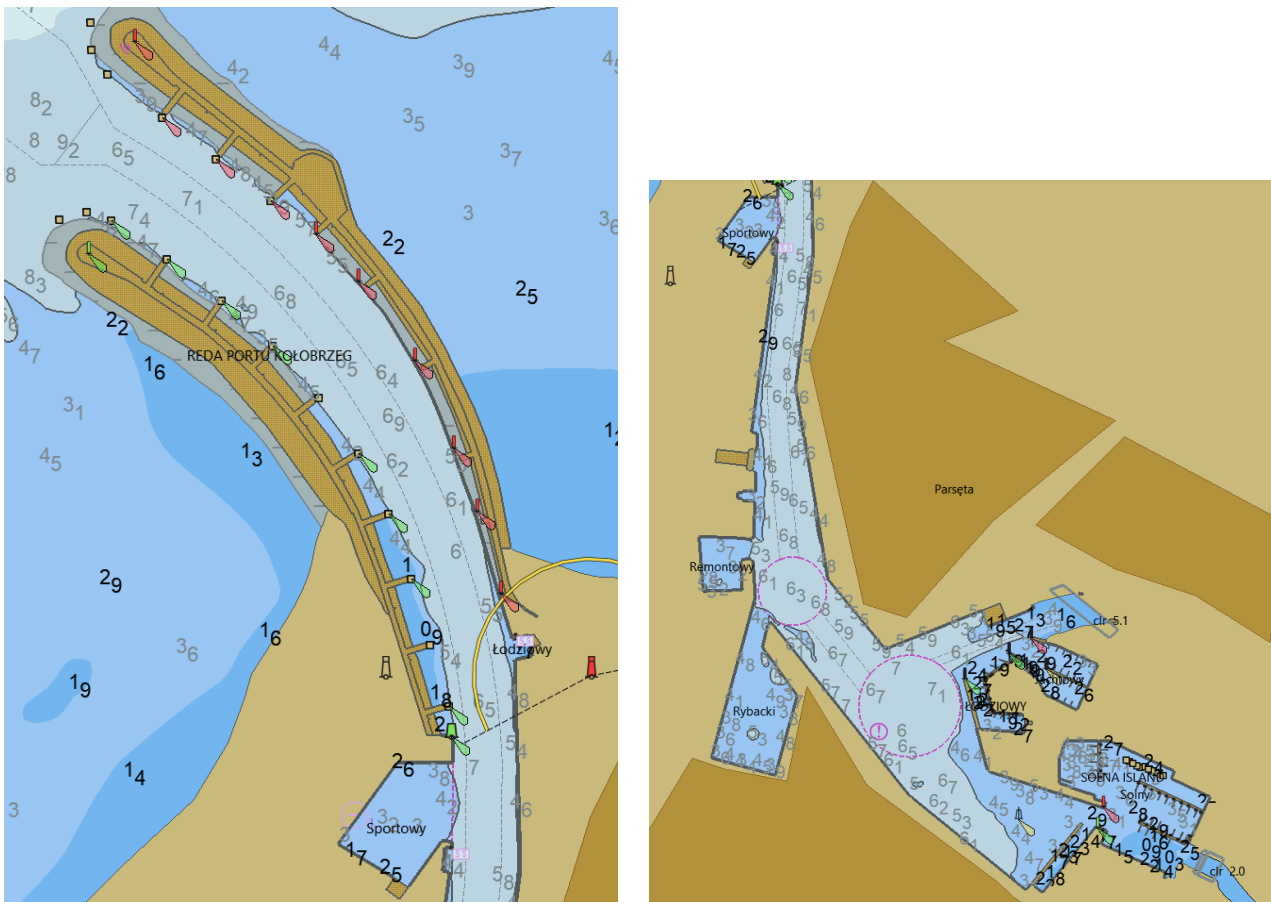
# 1. Cel opracowania

Celem opracowania jest określenie możliwości rozbudowy portu Kołobrzeg z punktu widzenia bezpieczeństwa nawigacji dla statków szczegółowo zdefiniowanych w rozdziale drugim i trzecim dla dwóch poniższych wariantów wskazanych przez zleceniodawcę:

**Wariant A:** Inwestycja umożliwiająca wejście do Portu Kołobrzeg jednostki o parametrach 130m długości, 20m szerokości i 7,5m zanurzenia, uwzględniając obecne możliwości techniczne istniejącej infrastruktury portowej. Zakłada on w praktyce ścięcie dwóch ostróg Falochronu Zachodniego, nabrzeża Wydmowego oraz części nabrzeża Żelbetowego i Bunkrowego.

**Wariant B:** Określenie parametrów jednostki maksymalnej przy założeniu minimalnego wariantu przebudowy tj. ścięcia nabrzeża Wydmowego oraz czterech ostróg u podstawy Falochronu Zachodniego.

Ostateczny układ proponowanych wariantów po analizie przedstawiono w rozdziale 6 i 7.



Rys. 1.1. Rejon opracowania  
(aktualna mapa nawigacyjna z batymetrią i oznakowaniem nawigacyjnym OC-48-BOLOK5 w formacie S63)

## 2. Wybór statku maksymalnego dla Wariantu A

Trzy typy jednostek są brane pod uwagę dla koncepcji przebudowy wg. Wariantu A:


1. Drobnicowiec o parametrach  $L=120m \div 130m$ ,  $B=20m$ ,  $T=7,5m$  (nieznacznie niedoładowana).
2. Prom bałtycki o parametrach  $L= 120m \div 130m$ ,  $B=20m$ ,  $T= 6m$ .
3. Serwisowy do obsługi FEW o parametrach zbliżonych do 1 i 2.

### 2.1. Drobnicowiec

Typowe parametry drobnicowców można przedstawić w tab. 2.1.

Tab.2.1

Średnie parametry jednostek drobnicowych

DROBNICOWCE 

DWT	$M_D$ [t]	$L_{OA}$ [m]	$L_{TP}$ [m]	B [m]	$H_M$ [m]	$D_L$ [m]	$D_B$ [m]	$C_B$
40,000	54,500	209	199	30.0	18	12.5	6.2	0.713
35,000	48,000	199	189	28.9	17	12.0	6.0	0.714
30,000	41,000	188	179	27.7	16	11.3	5.8	0.714
25,000	34,500	178	169	26.4	15.4	10.7	5.6	0.705
20,000	28,000	166	158	24.8	13.8	10.0	5.3	0.697
15,000	21,500	152	145	22.6	12.8	9.2	5.0	0.696
10,000	14,500	133	127	19.8	11.2	8.0	4.7	0.703
5,000	7,500	105	100	15.8	8.5	6.4	4.1	0.724
2,500	4,000	85	80	13.0	6.8	5.0	3.7	0.750

Zanurzenie pod balastem zgodnie z Regulami Konwencji MARPOL

Zatem uśredniona jednostka typu drobnicowiec może mieć parametry w zależności od długości:

1.  $L=130m$ ,  $B=19,9m$ ,  $T=7,9m$ .
2.  $L=120m$ ,  $B=17,9m$ ,  $T=7,2m$ .

Do dalszych rozważań przyjęto jednostkę o parametrach:


**Typ: drobnicowiec,  $L=130m$ ,  $B=20m$ ,  $T=7,5m$  (nieznacznie niedoładowany), dobrze manewrujący.**

### 2.2. Ro-Ro

Typowe parametry jednostek Ro-Ro przedstawiono w tab. 2.2.

Tab.2.2

Średnie parametry jednostek Ro-Ro

STATKI RO-RO I PROMY MORSKIE 

DWT	GT	$M_D$ [t]	$L_{OA}$ [m]	$L_{TP}$ [m]	B [m]	$H_M$ [m]	$D_L$ [m]	$C_B$
<b>RO-RO</b>								
–	50,000	87,500	287	273	32.2	28.5	12.4	0.783
–	45,000	81,500	275	261	32.2	27.6	12.0	0.788
–	40,000	72,000	260	247	32.2	26.2	11.4	0.775
–	35,000	63,000	245	233	32.2	24.8	10.8	0.759
–	30,000	54,000	231	219	32.0	23.5	10.2	0.737
–	25,000	45,000	216	205	31.0	22.0	9.6	0.720
–	20,000	36,000	197	187	28.6	21.0	9.1	0.722
–	15,000	27,500	177	168	26.2	19.2	8.4	0.726
–	10,000	18,400	153	145	23.4	17.0	7.4	0.715
–	5,000	9,500	121	115	19.3	13.8	6.0	0.696

Zatem uśredniona jednostka typu Ro-Ro może mieć parametry:

1.  $L=130m$ ,  $B=20,4m$ ,  $T=6,4m$ .
2.  $L=120m$ ,  $B=19,3m$ ,  $T=6,0m$ .

Do dalszych rozważań wybrano jednostkę nr 1 zmodyfikowaną do parametrów:

**Typ: prom Ro-Pax, L=130m, B=20m, T=6,0m, doskonała manewrowość.**

Jednostka przykładowa to norweski prom „Fanafjord” projektowany na specyficzną linię żeglugową i na akweny osłonięte (fiordy) o parametrach L=130m, B=19m, T=4,5m (Rys. 2.1).



Rys.2.1. M/f „Fanafjord” jako przykładowy prom

### 2.3. Jednostka do obsługi FEW

Parametry jednostek do obsługi FEW określono na bazie parametrów jednostek 1 i 2. Będzie to jednostka, której parametry są: L<130m, B<20m i T<6m posiadająca manewrowość doskonałą.

## 3. Przyjęte warunki hydrometeorologiczne

Głównymi czynnikami eksploatacji wybranych jednostek jest wiatr, widzialność oraz pora dnia. W tab. 3.1 przedstawiono maksymalne parametry eksploatacji maksymalnych jednostek.

Tab.3.1

Przyjęte warunki eksploatacji			
Jednostka	Wiatr	Widzialność	Pora dnia
Drobnicowiec L=130m	do 8m/s (do 4B)	Dobra >2Mm	Dzień
Ro-Pax L=130m	do 11m/s (do 5B)	Dobra >2Mm	Dzień / Noc
Jednostka serwisowa FEW	do 11m/s (do 5B)	Dobra >2Mm	Dzień

## 4. Parametry dróg wodnych

Aktualne parametry dróg wodnych praktyczne i teoretyczne to jest takie, które można fizycznie osiągnąć po poszerzeniu kanału portowego i pogłębieniu przy nabrzeżach Żelbetowym i Bunkrowym.

### 4.1. Kanał portowy

Maksymalne szerokości aktualne teoretyczne (zakładając hipotetyczne pogłębienie kanału do ścianek nabrzeży) przedstawiono w tab. 4.1 oraz na rys. 4.1.

Tab. 4.1

Maksymalne szerokości aktualne (teoretyczne)	
Miejsce	Szerokość
Ostroga przy podstawie zach. falochronu	46m
Podstawa falochronu (nab. Wydmowe)	46m
Nab. Żelbetowe	<b>48m</b>



Rys. 4.1. Szerokości dostępne kanału portowego w Kołobrzegu

#### 4.2. Obrotnica

Maksymalna dostępna średnica obrotnicy wynosi  $\varphi=158\text{m}$  przy wolnym nabrzeżu Barkowskim.

### 5. Zapas wody pod stępką dla jednostki maksymalnej

Rezerwę na osiadanie statku w ruchu obliczono jako wartości średnie z następujących metod analitycznych:

1. Huuska,
2. Barrasa nr 3,
3. Ankudinova.

Obliczenia osiadania przeprowadzono dla prędkości statków w rejonie falochronu równej 5w i w porcie równej 4w. W obliczeniach przyjęto stałą głębokość dla poszczególnych jednostek równą 8,5m w rejonie falochronu i 8m w kanale portowym. Osiadanie przedstawiono w tab. 5.1.

Tab.5.1

Osiadanie dla badanych jednostek		
Parametr	Falochron	Kanał portowy
Prędkość	5 w	4 w
Osiadanie met. Huuska	0.44	0.38
Osiadanie met. Barrasa nr 3	0.37	0.30
Osiadanie met. Ankundinov	0.23	0.11
Średnie osiadanie [m]	<b>0,35</b>	<b>0,25</b>

Określenie minimalnego zapasu pod stępką w oparciu o [Zalecenia, 2006] w tym Z31 – Zapas wody pod stępką kadłuba statku oraz [Gucma S. 2017]. Wyniki końcowe przedstawiono w tab. 7.3.

Oddziaływanie fali jest bardziej skomplikowane. W przybliżeniu można je określić za pomocą wytycznych hiszpańskich do projektowania dróg wodnych [ROM, 2007] (Tab.7.2). Poprawki na wysokość fali w zależności od jej wysokości znaczącej i długości statku Dla drobnicowca L=130m mamy dla fali Hf=0,5m przyjętej dla danych warunków eksploatacyjnych poprawka na falowanie jest rzędu 5cm.

Tab.7.2

Rezerwy na falowanie w zależności od długości statku (za ROM 2007)								
L [m] / Hf [m]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
75	0.1	0.17	0.34	0.58	0.76	1.02	1.3	1.58
100	0.05	0.14	0.28	0.46	0.65	0.87	1.12	1.36
150	0	0.09	0.2	0.34	0.51	0.69	0.87	1.08
200	0	0.05	0.15	0.26	0.4	0.57	0.72	0.92
250	0	0.03	0.1	0.21	0.33	0.48	0.63	0.8
300	0	0	0.07	0.16	0.25	0.39	0.56	0.68
400	0	0	0.04	0.11	0.18	0.31	0.51	0.58

Tab. 7.3.

Rezerwa wody pod stępką dla jednostki badanej.			
Symbol	Nazwa	L=130m falochron	L=130m kanał
$\Delta_1$	rezerwa wody na błąd sondaży	0,10	0,10
$\Delta_2$	rezerwa nawigacyjna (minimalny zapas)	0,30	0,30
$\Delta_3$	rezerwa na zamulenie akwenu	0,10	0,05
$\Delta_3$	rezerwa wody na błąd określenia wysokości pływu	0,00	0,00
$\Delta_5$	rezerwa na błąd określenia stanu wody	0,05	0,05
$\Delta_6$	rezerwa na błąd określenia zanurzenia statku	0,05	0,05
$\Delta_7$	rezerwa na przechył statku od porywu wiatru	0,00	0,00
$\Delta_8$	rezerwa wody na osiadanie statku w ruchu	0.35	0.25
$\Delta_9$	rezerwa wody na falowanie	0,05	0,00
Rezerwa		<b>1,00</b>	<b>0,80</b>

Na podstawie wytycznych PIANC [2014] rezerwa dla badanej jednostki na danym akwenu wynosi  $\Delta=1,15T$  a więc 15% zanurzenia, czyli  $\Delta=1,1m$  co jest wartością zbliżoną do powyższych wyników.

Głębokość bezpieczna minimalna na podejściu i w porcie dla jednostki T=7,5m wynosi zatem:

$$H_{\text{falochron}}=T+z=7,5+1,00=8,50 \text{ m}$$

$$H_{\text{kanał}}=T+z=7,5+0,80=8,30 \text{ m}$$

Wielkość rezerwy w rejonie obrotnicy i nabrzeży wewnątrz portu może być zmniejszona do około 0,30m (praktyka stosowana np. w Szczecinie) tj. do głębokości  $H_{obrotnica}=7,5+0,3=7,8m$ .

Wartość rezerwy nie uwzględnia długoterminowych zmian poziomów wody, a zatem może wystąpić możliwość czasowego wyłączenia z eksploatacji nabrzeża w wyniku zbyt małego poziomu lustra wody. Kwestia ta powinna być przedmiotem dalszej optymalizacji i decyzji operatora oraz odpowiedniego Urzędu Morskiego.

## 6. Parametry dróg wodnych dla Wariantu A

Do dalszych analiz przyjęto jednostki o parametrach uśrednionych:

1. Drobnicowiec: L=130m B=20m, T=7,5m (prawie całkowicie załadowany) manewrowość dobra (ster strumieniowy).
2. Ro-Ro: L=130m B=20m, T=6m (lub mniejsze) manewrowość doskonała (2 śruby, ster strumieniowy lub inny układ).

### 6.1. Poprzednie badania symulacyjne (2009 r. i 2016 r.)

W latach 2009 oraz 2016 przeprowadzono badania symulacyjne, które miały na celu kolejno zaprojektowanie nowego falochronu w porcie Kołobrzeg oraz określenie maksymalnych jednostek, które mogą być eksploatowane w obecności zacumowanych jednostek białej floty.

#### 6.1.1. Badania z 2016 r.

Wykonano je za pomocą modelu matematycznego drobnicowca o parametrach L=100m, B=15m, T=5m, o manewrowości dobrej, przy zajętych nabrzeżach Pilotowym (typu Jantar o szerokości B=11m i trzech jednostek typu Monika o szerokości B=8m). Wyniki tej pracy jako pasy ruchu i ich parametry zostały przedstawione w tab. 6.1. Szerokości pasów ruchu i odchylenia standardowe dla 4 sekcji drogi wodnej w rejonie Nb. Pilotowego (podzielonego na część północną – N, środkową – Śr. i południową – S) oraz dla Nb. Węglowego, części północnej (N) przedstawiono w tab. 6.1. Widać, że statek maksymalny o szerokości B=15m potrzebuje ok. 32m na manewr w rejonie nabrzeży Pilotowego i Węglowego po ustabilizowaniu parametrów ruchu.

Tab. 6.1.

Parametry pasów ruchu dla 4 sekcji na torze przy zacumowanych jednostkach i krotności szerokości

Parametr	Pilotowe N	Pilotowe Śr.	Pilotowe S	Węglowe N
Pas 95%	41.5	35.5	31.0	30.0
Pas średni	24.0	22.6	20.3	18.7
Odchylenie standardowe	4.7	3.3	2.7	2.8
Pas 95%	42.0	34.5	31.0	30.0
Pas średni	23.9	22.6	20.5	18.7
Odchylenie standardowe	4.7	3.2	2.7	2.8
Pas 95%	39.0	35.5	33.9	32.3
Pas średni	22.4	21.8	20.2	19.7
Odchylenie standardowe	4.0	3.7	3.1	3.0
Pas 95%	39.7	32.9	31.6	32.7
Pas średni	24.9	21.6	21.7	20.6
Odchylenie standardowe	3.3	2.4	2.5	3.1

#### 6.1.2. Badania z 2009 r.

Celem badań symulacyjnych ruchu statków z 2009r określenie bezpieczeństwa wejścia jednostek dla modernizowanego falochronu w Kołobrzegu. Badanym statkiem był drobnicowiec 5.000DWT o parametrach L=100m, B=15m, T=6,3m. Wyniki badań przedstawiono w tab. 6.3. Wykonane one były bez statków zacumowanych.



## Wyniki badań symulacyjnych z 2009

Badania z 2009 seria W 10m/s				
L=100m B=15m, T=6,3m				
Parametr	Pilotowe N	Pilotowe śr.	Pilotowe S	Węglowe
Pas 95%	30	30	34	bd
Pas średni	19.3	20.2	20	bd
Odch. st	5.5	5.0	7.1	bd
Krotność B	2.0	2.0	2.3	bd

**6.1.3. Podsumowanie przeprowadzonych badań symulacyjnych**

Obliczenia szacunkowe obszarów manewrowych dla jednostek planowanych na podstawie badań 2009 r. oraz 2016 r. przedstawiono w tab.6.3 i 6.4.

Tab. 6.3.

Określenie szerokości kanału bazując na wynikach badań symulacyjnych z 2016r średnie wartości poszczególnych serii

Parametr	Pilotowe N	Pilotowe Śr.	Pilotowe S	Węglowe N
Średni pas 95% z całości z 2016r		40.6	34.6	31.9
Krotność B dla B=15m (2016r)		2.7	2.3	2.1
Szerokość dla drobnicowiec (B=20m)		54.1	46.1	42.5
Aktualna szerokość zakładająca brak jednostek stojących oraz ograniczeń w pogłębieniu		50	46	47

Tab. 6.4

Określenie szerokości kanału bazując na wynikach badań symulacyjnych z 2016r. maksymalne wartości z poszczególnych serii

Maksymalne wartości z serii	Pilotowe N	Pilotowe śr.	Pilotowe S.	Węglowe N.
Szerokość pasa 95% (B=15m)	42	35.5	33.9	32.7
D/B dla B=15m	2.8	2.4	2.3	2.2
D dla B=20m	56	47	45	44

Analizując wyniki można przyjąć, że jednostka o szerokości 20m typu drobnicowiec potrzebuje ok. 56m szerokości do bezpiecznego przejścia. Należy mieć na uwadze, że prędkości przejścia z symulacji 2016 r. wynosiły około 2,5w do 3,5w.

**6.2. Określenie szerokości metodą PIANC**

Metoda PIANC [PIANC 2014] jest obecnie jedną z najbardziej uznanych metod do określenia szerokości parametrów dróg wodnych. Jest to metoda empiryczna bazująca na krotności szerokości statku. Określenie szerokości dróg wodnych za pomocą metody PIANC dla badanych jednostek przedstawiono w tab. 6.5.

Tab.6.5.

## Szerokości dróg wodnych PIANC dla drobnicowca i Ro-Paxa

Statek typ dane wejściowe	Drobnicowiec	Wartość	Jednostka	Uzasadnienie
Długość	L	130	m	
Szerokość	B	20	m	
Zanurzenie	T	7.5	m	
Głębokość	h	8.3	m	
Zanurzenie do głębokości	h/T	1.11	bez.	
<b>Obliczenia:</b>				
Podstawowa szerokość	Wbm	1.5	bez.	dobrze manewrujący
Na prędkość	W1	0	bez.	5-8w
Na wiatr poprzeczny	W2	0.3	bez.	yw<15w
Na prąd poprzeczny	W3	0	bez.	Vpp=0
Na prąd wzdłużny	W4	0	bez.	Vpw<1,5w
Na falowanie	W5	0	bez.	Hz<=1m
Pomoce nawigacyjne	W6	0	bez.	Pomoce doskonałe
Typ dna	W7	0.1	bez.	dno miękkie
Głębokość	W8	0.4	bez.	H/T<1,15
Zapas na efekty brzegowe prawa	WBR	0.5	bez.	ścianka pionowa
Zapas na efekty brzegowe lewa	WBG	0.5	bez.	ścianka pionowa
Razem	W=Wbm+Suma(Wi)+WBR+WBG	3.3	bez.	
Szerokość	D=W*B	66.0	m	

Statek typ dane wejściowe	Ro-pax	Wartość	Jednostka	Uzasadnienie
Długość	L	130	m	
Szerokość	B	20	m	
Zanurzenie	T	6	m	
Głębokość	h	8.3	m	
Zanurzenie do głębokości	h/T	1.38	bez.	
<b>Obliczenia:</b>				
Podstawowa szerokość	Wbm	1.3	bez.	doskonale manewrujący
Na prędkość	W1	0	bez.	5-8w
Na wiatr poprzeczny	W2	0.6	bez.	15w<vw<33w
Na prąd poprzeczny	W3	0	bez.	Vpp=0
Na prąd wzdłużny	W4	0	bez.	Vpw<1.5w
Na falowanie	W5	0	bez.	H <sub>z</sub> ≤1m
Pomoce nawigacyjne	W6	0	bez.	Pomoce doskonałe
Typ dna	W7	0.1	bez.	dno miękkie
Głębokość	W8	0.2	bez.	1.5*H/T>1,15
Zapasy na efekty brzegowe prawa	WBR	0.5	bez.	ścianka pionowa
Zapasy na efekty brzegowe lewa	WBG	0.5	bez.	ścianka pionowa
Razem	W=Wbm+Suma(Wi)+WBR+WBG	3.2	bez.	
Szerokość	D=W*B	64.0	m	

Analizując wyniki można zauważyć, że niezbędna szerokość kanału portowego odbiega od wyników uzyskanych za pomocą ekstrapolacji wyników symulacyjnych z 2016r. Wynika to głównie z ukształtowania ścianek kanału przez co do ostatecznej szerokości drogi wodnej należało dodać po pół szerokości statku z każdej strony na zapas związany z efektami brzegowo-kanałowymi. W symulacjach z 2016r. ze względu na stojące jednostki współczynnik zablokowania kanału omówiony w dalszej części opracowania był mniejszy.

### 6.3. Określenie szerokości metodą ROM

Metoda ROM to bardzo dokładna metoda, którą opisano w zaleceniach do projektowania budowli morskich stosowanych Hiszpanii [ROM 2007]. Wyniki uzyskane metodą ROM przedstawiono w tab. 6.6.

Tab. 6.6

Wyniki określania szerokości dróg wodnych uzyskane za pomocą metody ROM

Statek typ dane wejściowe	Drobnicowiec	Wartość	Jednostka	Uzasadnienie
Długość	L	130	m	
Szerokość	B	20	m	
Zanurzenie	T	7.5	m	
Wsp. pełnotliwości	Cb	0.7	bez.	
Pole pow nawiewu	Fnx	1700	m <sup>2</sup>	
Pole pow podwodzia	Fpx	780	m <sup>2</sup>	
Prędkość statku	Vr	3.5	m/s	
Manewrowość	m	dobra	bez.	
Głębokość	h	8.3	m	
Zanurzenie do głębokości	h/T	1.11	bez.	
Prędkość wiatru	Vsr	8	m/s	
kat do wiatru	aVT	90	st.	prostopadle
<b>Obliczenia</b>				
współczynnik	$Cv=(Fwx/Fpx)^{0.5}$	1.48		
współczynnik	Kv	0.0172		tabela
kąt dryfu od wiatru	$bw=\arcsin(Kv \cdot Cv \cdot Vsr \cdot \sin aVT)/Vr$	3.3	st.	
dryf prądu	bf	0.0	st.	
dryf fali	bf	0.0	st.	
dryf od holowników	bh	0.0	st.	
całkowity dryf	b=bw+bp+bf+bh	3.3	st.	
Dodatkowa poprawka na dryf	bd=L*sinb	7.55	m	
Błąd systemu pozycjonowania	be	5.00	m	tabela - obniżono do 5m
Wsp. bezwładności	bro(manewrowość)=0,20*B	4.00	m	tabela
wsp. ryzyka tab.2.2	Emax	0.50	bez.	małe ryzyko śmierci i ekonomiczne
Bezwładność odpowiedzi statku	br=(1,5-Emax)bro	4.00	m	
Błąd odczytu systemu pozycjonowania	bb	0.00	m	
Efekty brzegowe	rism	8.00	m	tabela 0.4B
Dodatkowy margines na brzegowe	rhsd	4.00	m	tabela 0.2B
Szerokość dla odcinka prostego	Bn=B+bd+(be+br+bb)+2*(rism+rhsd)	60.55	m	
Krotność B		3.03	bez.	

Statek typ dane wejściowe	Ro-Pax	Wartość	Jednostka	Uzasadnienie
Długość	L	130	m	
Szerokość	B	20	m	
Zanurzenie	T	6	m	
Wsp. pełnotliwości	Cb	0.65	bez.	
Pole pow nawiewu	Fnx	1850	m <sup>2</sup>	
Pole pow podwodzi	Fpx	760	m <sup>2</sup>	
Prędkość statku	Vr	4	m/s	
Manewrowość	m	dobra	bez.	
Głębokość	h	8.3	m	
Zanurzenie do głębokości	h/T	1.38	bez.	
Prędkość wiatru	Vsr	11	m/s	
kat do wiatru	aVT	90	st.	prostopadle
<b>Obliczenia</b>				
współczynnik	$Cv=(Fwx/Fpx)^{0,5}$	1.56		
współczynnik	Kv	0.0172		tabela
kąt dryfu od wiatru	$bw=arcsin(Kv*Cv*Vsr*sinavt)/Vr$	4.2	st.	
dryf prądu	bf	0.0	st.	
dryf fali	bf	0.0	st.	
dryf od holowników	bh	0.0	st.	
całkowity dryf	$b=bw+bp+bf+bh$	4.2	st.	
Dodatkowa poprawka na dryf	$bd=L*sinb$	9.59	m	
Błąd systemu pozycjonowania	be	5.00	m	tabela - obniżono do 5m
Wsp. bezwładności	$bro(\text{manewrowość})=0,20*B$	4.00	m	tabela
wsp. ryzyka tab. 2.2	Emax	0.50	bez.	małe ryzyko śmierci i ekonomiczne
Bezwładność odpowiedzi statku	$br=(1,5-Emax)/bro$	4.00	m	
Błąd odczytu systemu pozycjonowania	bb	0.00	m	
Efekty brzegowe	rasm	8.00	m	tabela 0.4B
Dodatkowy margines na brzegowe	rbsd	4.00	m	tabela 0.2B
Szerokość dla odcinka prostego	$Bn=B+bd+(be+br+bb)+2*(rasm+rbsd)$	62.59	m	
Krotność B		3.13	bez.	

Analizując dane dotyczące szerokości dróg wodnych metodą ROM można zauważyć, że szerokości niezbędne do bezpiecznego manewrowania przy wyznaczonych warunkach wynoszą 60m dla drobnicowca oraz około 63m dla promu.

#### 6.4. Określenie szerokości metodą Kanadyjską uproszczoną

Metoda kanadyjska [] składa się z 2 metod: bardziej skomplikowanej, która jest podobna do PIANC oraz uproszczonej, która została zastosowana w opracowaniu. Wyniki tej metody przedstawiono w tab. 6.6.

Tab. 6.6.

Wyniki szerokości dróg wodnych dla metody kanadyjskiej

Statek typ dane wejściowe	Drobnicowiec	Wartość	Jednostka	Uzasadnienie
Długość	L	130	m	
Szerokość	B	20	m	
Zanurzenie	T	7.5	m	
Głębokość	h	8.3	m	
Zanurzenie do głębokości	h/T	1.11	bez.	
<b>Obliczenia:</b>				
Podstawowa szerokość	Wbm	1.8	bez.	dobrze manewrujący
Na wiatr	W1	0.7	bez.	slaby
Kanałowe efekty	W2	1.25	bez.	silne
Pilot na burcie	W3	20%	%	redukcja o 20%
Pomoce nawigacyjne	W4	0	bez.	doskonałe
Razem	$W=Wbm+Suma(Wi) -\%$	3	bez.	
Szerokość	$D=W*B$	60.0	m	

Statek typ dane wejściowe	Ro-Pax	Wartość	Jednostka	Uzasadnienie
Długość	L	130	m	
Szerokość	B	20	m	
Zanurzenie	T	6	m	
Głębokość	h	8.3	m	
Zanurzenie do głębokości	h/T	1.38	bez.	
<b>Obliczenia:</b>				
Podstawowa szerokość	Wbm	1.6	bez.	doskonale manewrujący
Na wiatr	W1	1	bez.	silny
Kanałowe efekty	W2	1.25	bez.	silne
Pilot na burcie	W3	20%	%	redukcja o 20%
Pomoce nawigacyjne	W4	0	bez.	doskonałe
Razem	$W=Wbm+Suma(Wi) -\%$	3.08	bez.	
Szerokość	$D=W*B$	61.6	m	

## 6.5. Parametry przekroju kanału do przekroju owręza statku

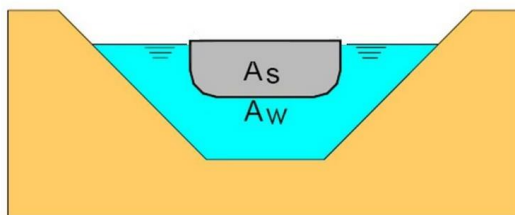
Stosunek przekroju zwilżonej części kanału do przekroju owręza statku (tzw. blockage factor) to podstawowy charakter pozwalający określić wpływ kanału na manewrowość oraz osiadanie i inne efekty kanałowe. Wynosi on:

$$S = A_s / A_w$$

gdzie:

$A_s$  - pole przekroju owręza statku równe w przybliżeniu  $C_o * B * T$  ( $C_o$  – pełnotliwość owręza,  $B$ - szerokość statku,  $T$ -zanurzenie statku)

$A_w$  – pole przekroju kanału równe w przybliżeniu dla kanału portowego w Kołobrzegu  $A_w = D * H$  ( $D$ - szerokość kanału,  $H$  – głębokość kanału)



Rys. 6.1. Pole przekroju kanału do pola przekroju statku

Dla jednostki z badań 2016r. o parametrach  $B=15\text{m}$ ,  $T=6\text{m}$  (wsp. pełnotliwości owręza  $C_o=0.95$ ) oraz kanału o  $D=48\text{m}$  i  $H=6,5\text{m}$  uśrednione w modelu wynosi on  $S=0,275$  (nie uwzględniono zacumowanych jednostek – przepływ wody i elastyczność cum nie były w zakresie modelowania).

Przyjmując szerokość kanału ekstrapolowaną na podstawie symulacji równą  $50\text{m}$  (dla krotności szerokości 2,7) mamy dla statku  $B=20\text{m}$  i  $T=6,5\text{m}$  współczynnik zablokowania kanału równy  $S=0,351$ . Jest to wartość znacząco większa i wpływa ona na manewrowość poprzez efekty hydrauliczne i brzegowo-kanałowe. Dla szerokości kanału równej  $65\text{m}$  mamy współczynnik zablokowania równy  $S=0,270$  to jest zbliżone lub nawet nieznacznie bardziej pozytywne do warunków prowadzenia symulacji. Wartości współczynnika zablokowania kanału większe o  $0,27$  są uznawane za mocno ograniczające manewrowość statku.

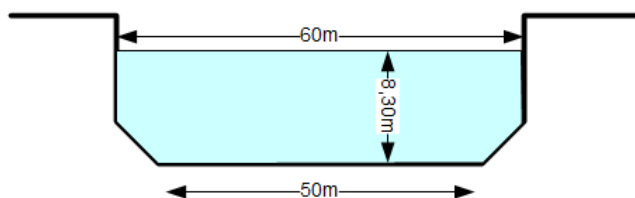
## 6.6. Podsumowanie – szerokości dróg wodnych dla Wariantu A

Szerokości dróg wodnych dla kanału portowego w Kołobrzegu dla jednostki maksymalnej  $L=130\text{m}$  powinny wynosić około  $60\text{m}$ . Tak duża wartość wynika przede wszystkim z ukształtowania kanału i małej powierzchni zwilżonej co prowadzi do znacznych efektów brzegowo-kanałowych. Powoduje to konieczność pozostawienia po pół szerokości statku tj. po  $10\text{m}$ , po każdej stronie kanału. Parametry dróg wodnych dla jednostki manewrującej samodzielnie przedstawiono na rys. 6.2 i 6.3 (przekrój).

Takie pogłębienie i poszerzenie dróg wodnych pozwoli na eksploatację maksymalnej jednostki w zakładanych warunkach bez żadnego wspomaganie zewnątrz w postaci holowników to znaczy statek porusza się prędkością manewrową powyżej 4 węzłów.



Rys. 6.2. Układ kanału portowego w Kołobrzegu dla jednostek  $L=130\text{m}$ ,  $B=20\text{m}$  wchodzącej samodzielnie w warunkach przyjętych w opracowaniu. Wariant A.

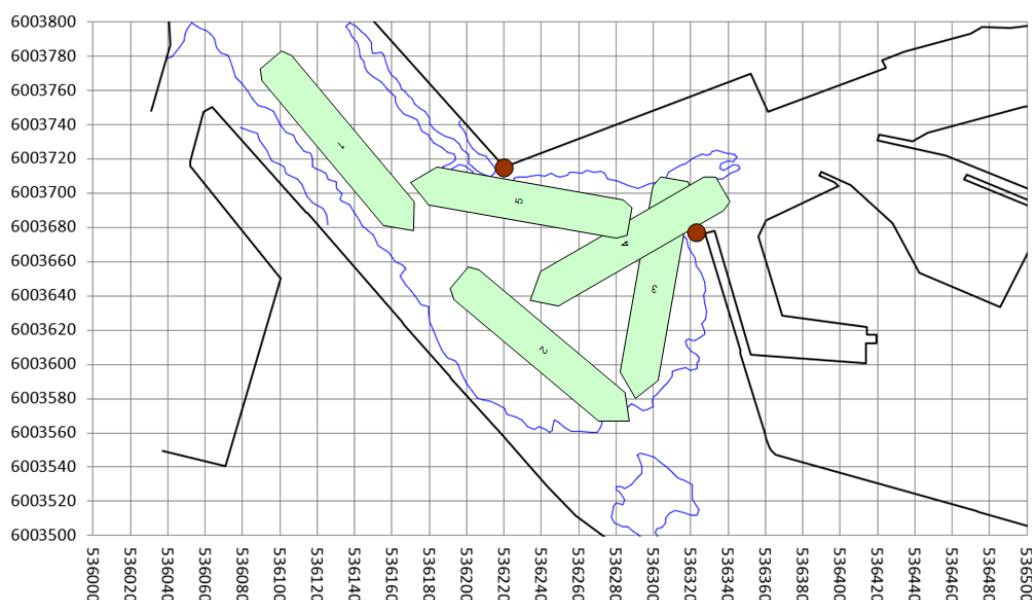


Rys. 6.3. Przekrój kanału portowego w Kołobrzegu dla jednostki  $L=130\text{m}$ ,  $B=20\text{m}$  wchodzącej samodzielnie w warunkach przyjętych w opracowaniu. Wariant A.

### 6.7. Obrotnica dla jednostki $L=130\text{m}$

Przyjmuje się, że do bezpiecznego obrotu statku z holownikami średnica obrotnicy wynosi  $F=1,5 \cdot L=1,5 \cdot 130\text{m}=195\text{m}$ . Obecne parametry nie zapewniają tej wartości, a likwidacja nabrzeża Szkolnego nie jest brana pod uwa-

gę. Patrząc na ukształtowanie miejsca obrotu możliwy jest półobrót z wykorzystaniem dalb. Proponuje się zainstalować 2 dalby jedną na północnym krańcu nabrzeża Szkolnego, a drugą na narożniku nabrzeża Słupskiego i Koszalińskiego (Rys. 6.4). Taktyka obrotu jednostki polegać będzie na wspomaganiu obrotu poprzez intencjonalny kontakt z dalbą częścią rufową bądź dziobową po to żeby wytworzyć odpowiedni moment za pomocą holowników. Statki ze sterami strumieniowymi i doskonale manewrujące o długości maksymalnej będą w stanie wykonać obrót bez kontaktu z dalbami, które będą jednak pełniły rolę zabezpieczającą przy niespodziewanym uderzeniu wiatru lub prądu w kadłub jednostki.



Rys. 6.4. Proponowana lokalizacja dalb i technika wykonania obrotu dużego statku L=130m.

### 6.7.1. Określenie energii i parametrów systemu dalb wspomagających obrót

Za pomocą danych z badań symulacyjnych z roku 2016 określono prędkości jednostki podczas wykonywania obrotu w fazie wstrzymywania i kontrolowania obrotu tj. w takiej jak spodziewana się kontaktu intencjonalnego z dalbami. Maksymalne prędkości boczne były rzędu 0,25m/s (0,5w) podczas wstrzymania i wykonywania obrotu. Daje to energię rzędu 300kNm i impuls siły rzędu 3000kN dla statku maksymalnego o L=130m.

## 7. Parametry dróg wodnych dla Wariantu B

Układ dróg wodnych dla Wariantu B przedstawiono na rys. 7.1. Zakłada on:

- Usunięcie nabrzeża Wydmowego.
- Usunięcie pierwszej ostrogi od podstawy zachodniego falochronu.
- Skrócenie o połowę drugiej ostrogi od podstawy zachodniego falochronu.
- Niewielki skrócenie trzeciej i czwartej ostrogi od podstawy zachodniego falochronu tak aby uzyskać szerokość dla statków równą 60m.
- Opcjonalnie drobną korektę narożnika nab. Żelbetowego.

Szacuje się na podstawie obliczeń analitycznych oraz doświadczeń z badań symulacyjnych, że jednostki badane potrzebują od  $k=2,7$  do  $k=3,0$  mnożnika szerokości statku dla kanału portowego w Kołobrzegu po to, aby manewrować bezpiecznie. Przyjęto, że wartość większa to jest  $k=3,0$  będzie mogła być osiągnięta przy dość wolnym przejściu statku z minimalną prędkością manewrową bez wspomagania poprzez holowniki. Wartość mniejsza to jest  $k=2,7$  będzie osiągnięta poprzez zwolnienie poniżej prędkości manewrowej jednostki i wspomaganie manewrów za pomocą holownika dziobowego. Wiedząc, że  $D=kB$  stąd  $B=D/k$  minimalną szerokością drogi wody w kanale portowym w Kołobrzegu jest wartość  $D=50m$  daje to odpowiednio:

- $B=50/3,0=16,5m$  dla jednostki manewrującej samodzielnie,
- $B=50/2,7=18,5m$  dla jednostki manewrującej z holownikiem.

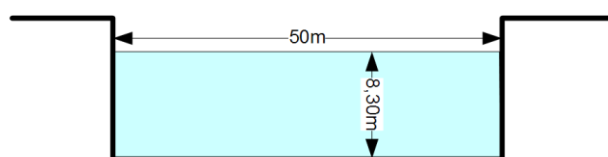
Zastosowane metody analityczne projektowania szerokości dróg wodnych nie uwzględniają użycia holowników. Praktycznie nie ma takich metod analitycznych, zatem do ostatecznej weryfikacji też postawionych w pracy proponuje się użyć metod symulacyjnych w opracowaniu projektowym.

Należy pamiętać, że w przypadku przejścia z holownikiem z mniejszą prędkością statku (ok. 2w) osiadanie zmniejszy się o około 20cm a głębokość wymagana do wartości  $H=8,0m$ .

Uciąg holownika wspomagającego przejście kanałem (dziobowego) nie powinien być mniejszy od  $U=10T$ .



Rys. 6.5. Układ kanału portowego w Kołobrzegu dla Wariantu B



Rys. 6.6. Przekrój szkicowy kanału portowego w Kołobrzegu dla Wariantu B

## 8. Wnioski

W opracowaniu przeanalizowano pod kątem bezpieczeństwa nawigacji dwa warianty rozbudowy Portu w Kołobrzegu zakładające minimalną ingerencję w obecną infrastrukturę portową (Wariant B) oraz ingerencję większą (Wariant A). Określono maksymalne parametry statków, minimalne parametry dróg wodnych niezbędne do bezpiecznego manewrowania oraz warunki w jakich może odbywać się nawigacja.

Dla **Wariantu A** przebudowy do eksploatacji wybranych dwóch typów statków o parametrach  $L=130\text{m}$ ,  $B=20\text{m}$ ,  $T=7,5\text{m}$  (drobnicowiec) lub  $L=130\text{m}$ ,  $B=20\text{m}$ ,  $6,0\text{m}$  (Ro-Pax) w wybranych dla jednostek warunkach będzie konieczne poszerzenie kanału portowego w Kołobrzegu do szerokości  $D=60\text{m}$  i głębokości  $H=8,3\text{m}$  tak jak przedstawiono to w punkcie 6.

Dla **Wariantu B**, który przedstawiono w punkcie 7 możliwa będzie eksploatacja jednostek o szerokości maksymalnej do  $B=16,5\text{m}$  manewrującej samodzielnie lub  $B=18,5\text{m}$  manewrującej w asyście jednego holownika zamocowanego do dziobu jednostki.

W obu wariantach w przypadku eksploatacji jednostek o długości maksymalnej do  $L=130\text{m}$  należy przebudować obrotnicę stosując środki wspomagające manewr w postaci dalb, które ułatwią obrót jednostki. Proponowany układ dalb przedstawiono w punkcie 6.7. Żeby zapewnić bezpieczeństwo obrotu dla jednostek o długości powyżej  $120\text{m}$  należy zastosować 2 holowniki o uciążu min.  $10\text{T}$  każdy. W przypadku, gdy jednostka posiada sprawny ster strumieniowy do obrotu wystarczy jeden holownik.

## Bibliografia

1. Canadian Waterways National Maneuvering Guidelines: Channel Design Parameters; Waterways Development, Marine Navigation Services, Canadian Coast Guard, Fisheries and Oceans Canada, 1999.
2. Gucma L. Zarządzanie ryzykiem w rejonie mostów usytuowanych nad drogami wodnymi w aspekcie uderzenia jednostek pływających. AM w Szczecinie 2012.
3. Gucma S. Inżynieria Ruchu Morskiego. Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.
4. Hensen H. Tug use in Port. The Nautical Institute. 2003.
5. Locja Bałtyku. 502. Wydawnictwo BHMW. Gdynia 2016.
6. PIANC 1984. Report of the International Commission for Improving the Design of Fenders Systems. Supplement to PIANC Bulletin no. 45, Bruksela.
7. PIANC 2014. Harbour Approach Channels Design Guidelines. PIANC report no 121. Maritime Navigation Commission. PIANC 2014.
8. ROM 3.1-99: Recommendations for the Design of the Maritime Configuration of Ports, Approach Channels and Harbour Basins; Puertos del Estado, 2007; ISBN 978-84-88975-39-3.
9. 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, Dz.U. nr 101 z dnia 6 sierpnia 1998.
10. Thoensen J. Port design Handbook. ICE Publishing 2014.
11. USACE, United States Army Corps of Engineers: Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects. Washington, 2006.
12. Zalecenia do projektowania morskich budowli hydrotechnicznych. Praca zbiorowa pod red. B. Mazurkiewicza. 2006.