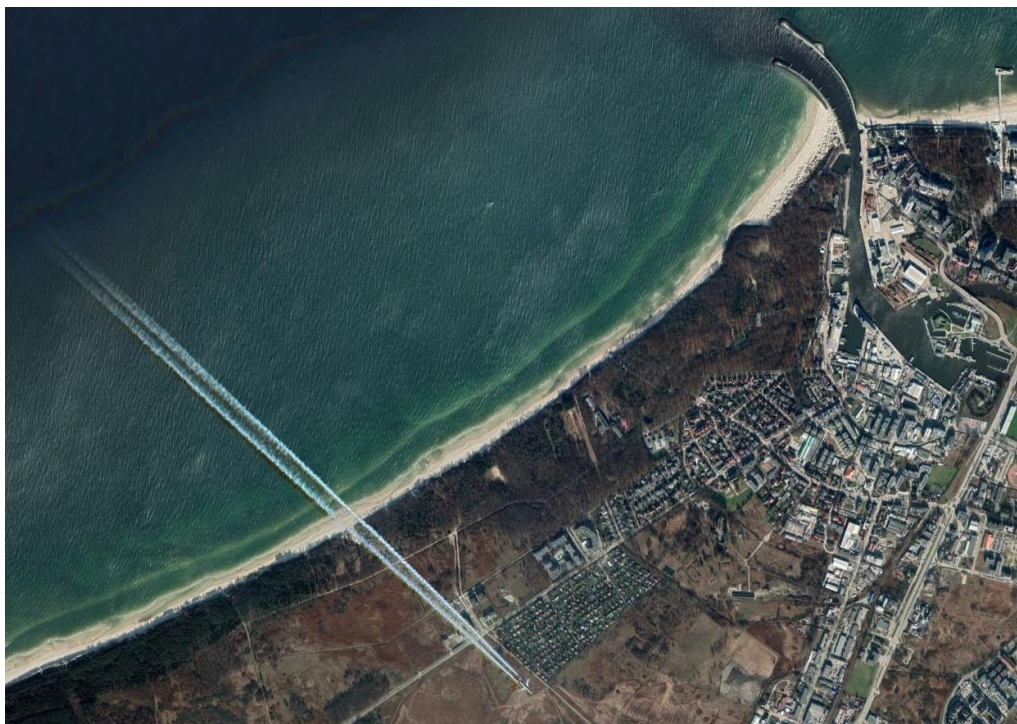




3GTech sp. z o.o.

Ekspertyza w sprawie przebudowy rampy na Nab. Koszalińskim w Kołobrzegu

Analiza nawigacyjna



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

Zleceniodawca:

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

Szczecin 15.05.2021

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

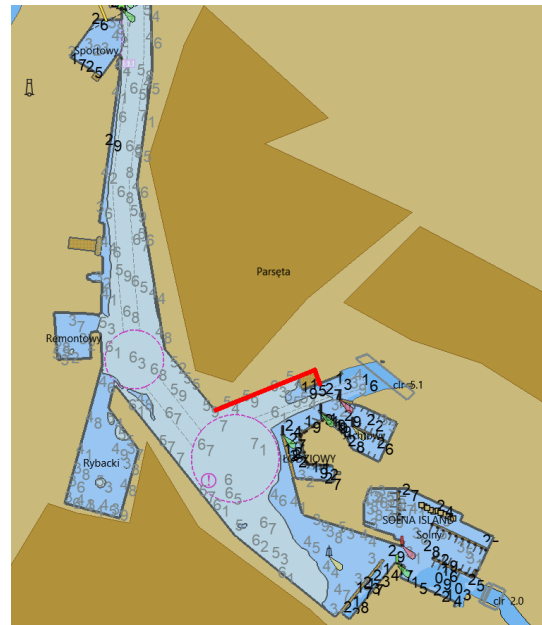
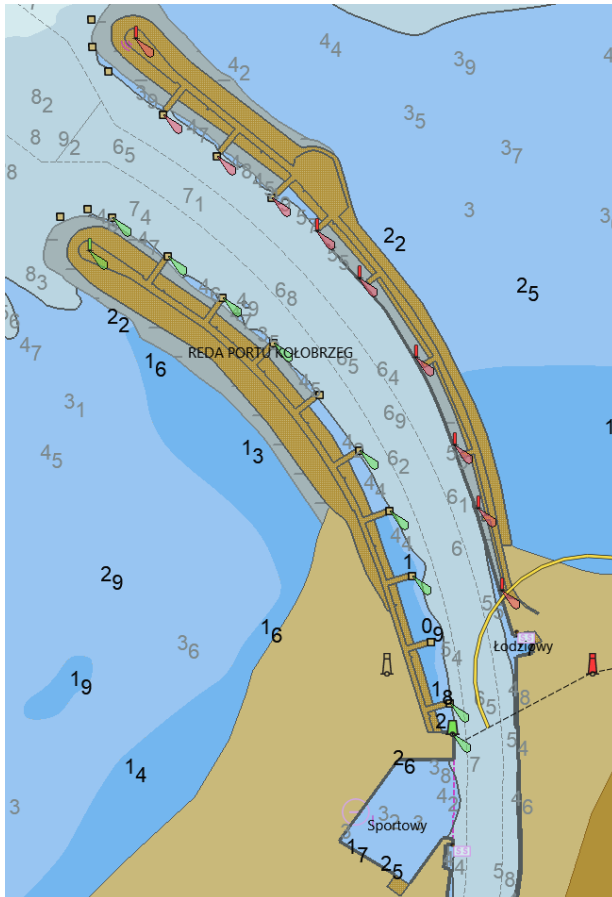
Spis treści

Spis treści	2
1. Cel opracowania	3
2. Układ rampy na Nab. Koszalińskim	3
3. Parametry dróg wodnych	5
3.1. Parametry kanału portowego	5
3.2. Parametry obrotnicy	5
3.3. Głębokości	5
4. Uwarunkowania eksploatacyjne i wielkości statków	6
4.1. Taktyka wykonania obrotu jednostek o długości większej niż 110m	6
5. Parametry małych jednostek Ro-Pax wybranych do analizy	7
5.1. Dokładna charakterystyka wybranych promów	8
5.1.1. HSC Gotlandia	8
5.1.2. Prom Blue Line	10
5.1.3. Glen Sannox	10
5.1.4. Algeciras Jet	11
5.1.5. Inne promy analizowane	12
6. Ocena istniejącej rampy lądowej (zjazdu) na Nab. Koszalińskim	16
6.1. Standardy dotyczące ramp przyjęte w opracowaniu	16
6.1.1. Główne elementy standardu BS 6349 w zakresie rzędnych ramp statkowych	16
6.1.2. Główne elementy standardu BS 6349 w zakresie rzędnych ramp i najazdów na lądzie:	17
6.2. Ocena kompatybilności wybranych promów z rampą istniejącą	18
6.2.1. Gotlandia	18
6.2.2. Blue Line	19
6.2.3. Glen Sannox	19
6.2.4. Algeciras Jet	20
7. Ocena projektowanej rampy pod kątem rzędnych	21
7.1. Ocena kompatybilności nowoprojektowanej rampy w zakresie rzędnych dla wybranych promów	21
7.1.1. Ocena rzędnych Gotlandii dla projektowanej rampy	22
7.1.2. Ocena rzędnych Blue Line dla projektowanej rampy	22
7.1.3. Ocena rzędnych Glen Sannox dla projektowanej rampy	22
7.1.4. Ocena rzędnych Algeciras Jet dla projektowanej rampy	23
8. Energia cumowania i strumienie zaśrubowe	23
8.1. Energia cumowania i odbojnice	23
8.2. Strumienie zaśrubowe	24
8.2.1. Promy konwencjonalne	24
8.2.2. Promy HSC	26
9. Wnioski	28
Bibliografia	29

1. Cel opracowania

Celem opracowania jest określenie możliwości przebudowy i dostosowania rampy na Nab. Koszalińskie w porcie Kołobrzeg do obsługi typoszeregu jednostek Ro-Pax. Analizę przeprowadzono dla reprezentowanej serii możliwych do eksploatacji Ro-Paxów w tym wybranych przez zamawiającego.

Ekspertyza zakłada dwa wyjściowe warianty: bez modernizacji istniejącej rampy i z modernizacją rampy wraz wstępną oceną jej proponowanej konstrukcji.



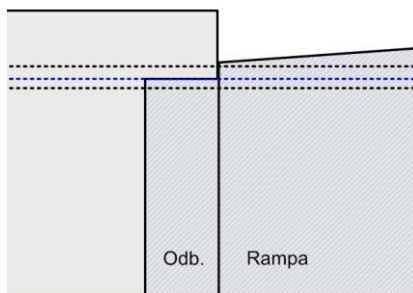
Rys. 1.1. Rejon opracowania. Nabrzeże Ro-Ro i rampę zaznaczono na czerwono na prawym rysunku. (aktualna mapa nawigacyjna z batymetrią i oznakowaniem nawigacyjnym OC-48-BOLOK5 w formacie S63)

2. Układ rampy na Nab. Koszalińskim

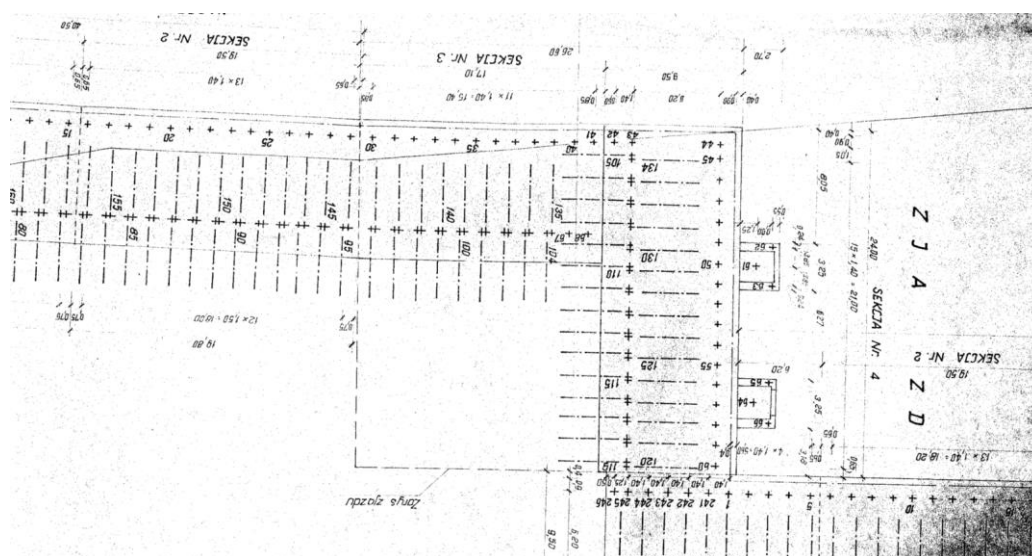
Na podstawie opisu technicznego dla projektu rampy (zjazdu) wykonanego przez Bimor w 1975r. można stwierdzić, że jest to konstrukcja o parametrach i cechach:

1. Konstrukcja: płyta żelbetowa na palach
2. Szerokość 24,0m
3. Długość 26,6m
4. Rzędna progu zjazdu +0,60m
5. Rzędna korony 2,50m
6. 2 odbojnice na środku o długości ok. 2,6m, rzędna odbojnic ok. 0,0m
7. Nachylenie płyty 14:1
8. Spadek 4,1 stopnia
9. Nachylenie 7,16%
10. Poziomy wody projektowe (za Bimorem 1975):
 - a. SWW= +0,46m

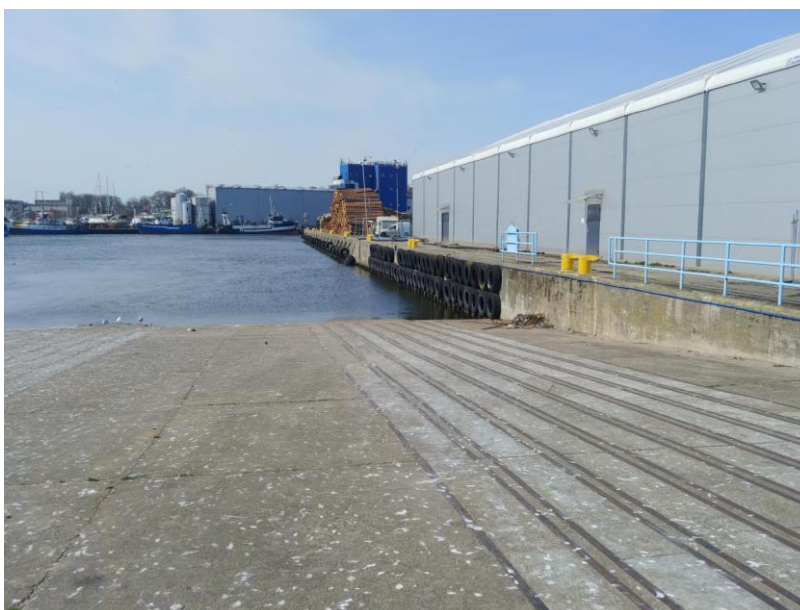
- b. SW = +0,03m
- c. SNW = -0,34m



Rys. 2.1. Poziomy wody projektowe (niebieska przerywana: SW, czarna przerywana: SWW i SNW)



Rys. 2.2. Rzut z góry na układ zjazdu oraz schemat palowania



Rys. 2.2. Fotografia aktualnego stanu rampy od strony wjazdu z portu (stan na 04.2022)

3. Parametry dróg wodnych

3.1. Parametry kanału portowego

Maksymalne szerokości drogi wodnej w kanale portowym w Porcie Kołobrzeg przedstawiono w Tab. 4.1. i na Rys. 3.1.

Tab. 4.1

Maksymalne teoretyczne szerokości w Porcie Kołobrzeg

Place	Szerokość
Nasada falochronu	46m
Nab. Wydmore	46m
Nab. Żelbetowe	48m
Nab. Bunkrowe	50m



Rys 3.1 Dostępne szerokości maksymalne kanału portowego w Kołobrzegu

3.2. Parametry obrotnicy

Maksymalna średnica do obrotu jednostki dla wolnego Nab. Barkowskiego ma $\phi=158\text{m}$. Teoretycznie pozwala ona obracanie jednostek do 105m długości całkowitej ($\phi=1,5L=1,5*105\text{m}$).

3.3. Głębokości

Zanurzenie jednostek typu Ro-Pax o parametrach rozważanych jest małe i głębokości w porcie i przy nabrzeżu Koszalińskim ($H_t=8\text{m}$) nie są w tym aspekcie istotne dla bezpieczeństwa nawigacji i nie będą dalej rozważane.

4. Uwarunkowania eksploatacyjne i wielkości statków

Na podstawie pracy *OKREŚLENIE MAKSYMALNYCH STATKÓW MOGĄCYCH BYĆ EKSPLOATOWANE W PORCIE KOŁOBRZEG Z UWZGLĘDNIENIEM MOŻLIWEJ PRZEBUDOWY PORTU METODAMI SYMULACYJNYMI (Szczecin 2016)* określone zostały maksymalne statki jakie mogą być eksploatowane w Kołobrzegu jako drobnicowce o parametrach: **L=100m, B=15m, T=5,0m** i wietrze do 10m/s z dowolnych kierunków. Szereg ograniczeń występuje przy zajętym Nab. Pilotowym i przedstawiono je w cytowanym opracowaniu.

Bazując na opracowaniu *Ekspertyza w sprawie możliwości rozbudowy Portu w Kołobrzegu, w tym przeprowadzenie analizy nawigacyjnej, analizy hydrotechnicznej i analizy falowania (Szczecin 2021)* określono możliwość rozbudowy portu w wariantach minimalnym i maksymalnym.

Można przyjąć, że przy obecnym układzie portu bez zacumowanych jednostek przy nabrzeżu Pilotowym możliwe będzie wejście jednostek o lepszej manewrowości niż typowy drobnicowiec, a więc takiej jak rozważane Ro-Paxy do szerokości B=16,5m (15% większej niż szerokość przyjęta dla drobnicowca). Taka możliwość musi być potwierdzona analizą nawigacyjną wykonana metodami empirycznymi lub symulacyjnymi.

W przypadku konieczności eksploatacji jednostek o szerokości większej od 16,5m oraz długości większej od 110m należy wykonać szczegółową analizę nawigacyjną metodami symulacyjnymi.

Głównymi czynnikami eksploatacji wybranych jednostek jest wiatr, widzialność oraz pora dnia. W Tab. 4.1 przedstawiono maksymalne parametry eksploatacji jednostek maksymalnych.

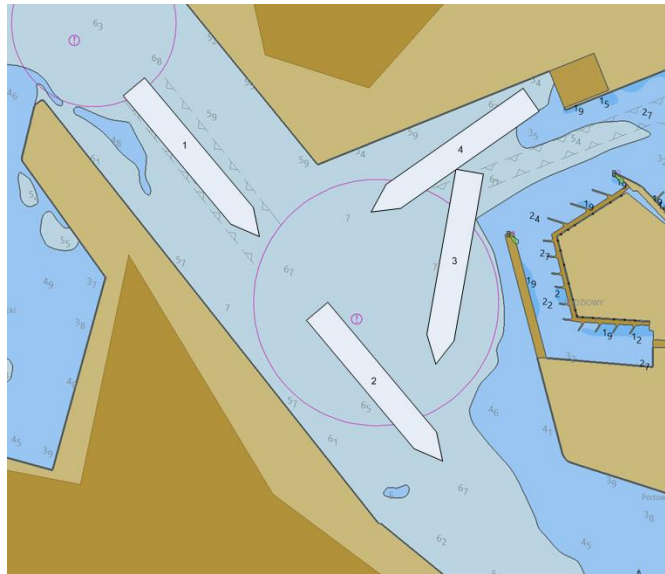
Tab.4.1

Przyjęte warunki eksploatacji

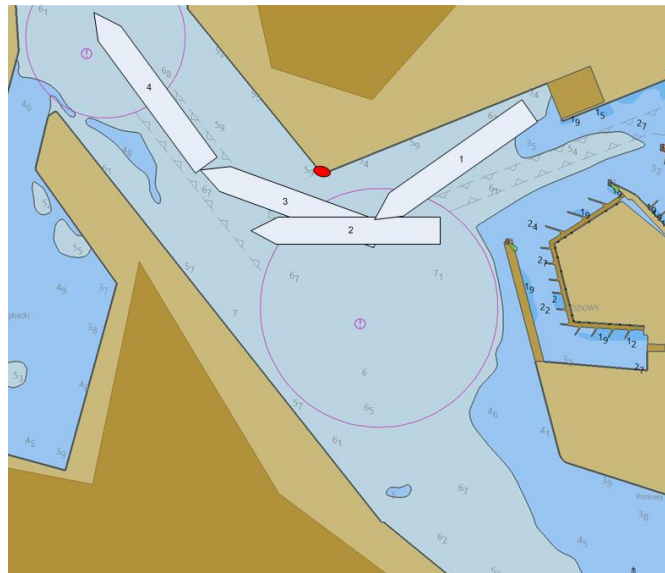
Jednostka	Wiatr	Widzialność	Pora dnia
Drobnicowiec maks.	do 10m/s (do 5B)	Dobra >2Mm	Dzień
Ro-Pax maks.	do 12m/s (ponad 5B)	Dobra >2Mm	Dzień / Noc

4.1. Taktyka wykonania obrotu jednostek o długości większej niż 110m

Taktyka manewrowania polega na wykonaniu półobrotu, który nie wymaga tak dużej średnicy obrotnicy jak klasyczny obrót o 180 stopni. Zakłada się że jednostki o długości rzędu 110m będą mogły wykonywać obrót korzystając z zabezpieczenia w postaci dedykowanego zespołu odbojnic na narożniku Nab. Słupskiego i Koszalińskiego, co będzie ważne, szczególnie przy wyjściu i przy wiatrach południowych, a więc przeważających. Położenie odbojnicy i taktykę manewru dla dużych jednostek przedstawiono na Rys. 4.1. i 4.2.



Rys. 4.1. Wejścia i półobrót jednostki o długości rzędu 110m



Rys. 4.2. Wyjścia i półobrót jednostki długości rzędu L=110m

5. Parametry małych jednostek Ro-Pax wybranych do analizy

Na podstawie danych zamawiającego do analizy wybrano jednostki potencjalnie mogące być eksploatowane. Są to:

1. *HSC Gollandia I*
2. *Blue Line*
3. *HSC Algeciras Jet*

Dodatkowo na podstawie wciąż aktualizowanej strony <http://www.ferry-site.dk/>, która posiada dane większości promów eksploatowanych w północnej Europie i na Morzu Śródziemnym, kierując się następującymi kryteriami:

1. Rok budowy: wcześniejszy niż 2005.
2. Długość poniżej 115m.
3. Szerokość poniżej 17,5m.
4. Nie uwzględniano promów dwustronnych jako jednostek dedykowanych na akwenty osłonięte.
5. Nie uwzględniano HSC dwukadłubowych, które z reguły mają szerokość rzędu 20m.

Wybrano następujące jednostki, których w dalszym kroku na podstawie materiałów zdjęciowych określono parametry i położenie rampy:

1. Landegode
2. Nothern Sea Wolf
3. Aqua Jewel
4. Glen Sannox
5. Korcula
6. Passió per Formentera
7. Aqaba
8. HSC Mykonos Jet
9. Hebrides

5.1. Dokładna charakterystyka wybranych promów

Promy, których posiadano szczegółowe dane w tym plany generalne to *Gotlandia*, *Blue Line*, *Algerias Jet* oraz *Glen Sannox*.

5.1.1. HSC *Gotlandia*

HSC *Gotlandia I* to prom HSC jednokadłubowy, którego parametry przedstawiano w Tab.5.1. i Rys 5.2.

- L=112m
- B=15,7m
- T=2,5m (załadowany)
- F=1.400m² (poprzeczna powierzchnia nawiewu).
- Napęd: 4 pędniki strugowodne napędzane 4 sinikami o mocy łącznej P=38.500KM
- Wspomaganie manewrowe: 2 stery strumieniowe o mocy 1.000KM.
- Prędkość eksploatacyjna 35w.

Inne parametry HSC *Gotlandia* przedstawiono w Tab. 5.1.

Tab. 5.1

Parametry podstawowe <i>Gotlandii</i>			
Parametr	Symbol		Jednostka
Długość	L	112	m
Szerokość	B	15.7	m
Zanurzenie	T	2.6	m
Zanurzenie pusty	Tb	2.3	m
Wysokość jarzma rampy	Hr	4.6	m
Długość rampy z klapą	Lr	7.5	m
Długość klapy	Lk	2	m
Szerokość rampy	Br	6.2	m
Położenie rampy	P	Rufa	
Czy klapowa	K	Tak	
Ciężar rampy	W	4.250	kg
Liczba ramp	I	2	

Prom ma znakomitą manewrowość w porcie, ale duże pole nawiewu. W oparciu o modele analityczne współczynnik mocy dla tego promu wynosi:

$$v_k = f(C_p)$$

$$C_p = P + kP_{ss}/F_{yn}$$

gdzie:

v_k – maksymalny wiatr poprzeczny podczas pracy [m/s]

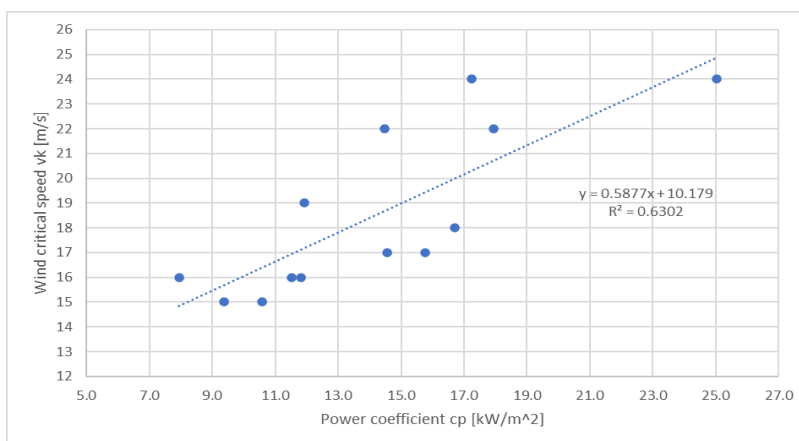
P – moc silników [kW];
 P_{ss} – moc sterów strumieniowych [kW];
 F_{yn} – powierzchnia nawiewu ;
 c_p – współczynnik mocy [-];
 k – stała =12.

Dla HSC *Gotlandia* wiatr krytyczny jest większy niż 25 m/s, co stanowi wynik świadczący o doskonałej manewrowości (Tab.5.2).

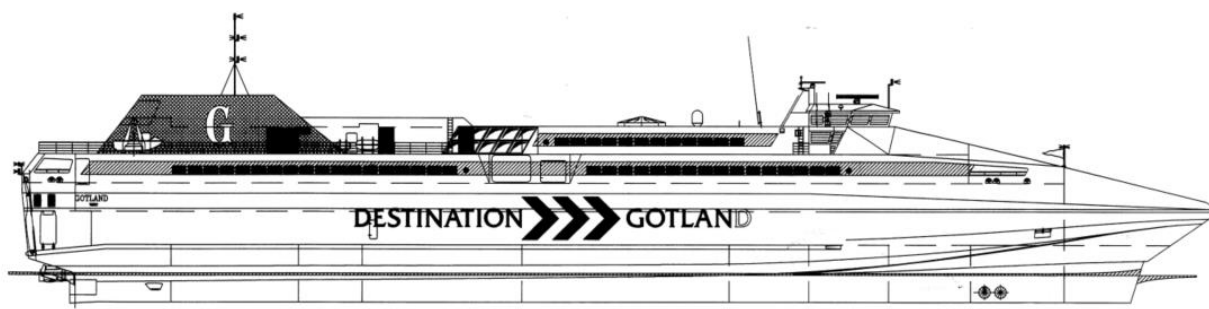
Tab. 5.2.

Wiatry krytyczne dla różnych promów (zielone są potwierdzone w praktyce i na ich podstawie stworzono model regresji)

Cp [-]	Ferry	Critical wind [m/s]	Loa	Fyn [m ²]	P [kW]	Pss [kW]
9.4	<i>Gryf</i>	15	157,9	2890	7900	1600
10.6	<i>Dueodde</i>	15	124,9	1950	8640	1000
7.9	<i>Hammerodde</i>	16	129,9	2600	8640	1000
11.8	<i>Mazovia</i>	16	168,2	3900	17300	2400
11.5	<i>Galileusz</i>	16	150,4	2560	11520	1500
15.8	<i>Pomerania</i>	17	127,4	1940	12600	1500
14.5	<i>Wolin</i>	17	188,9	3300	13200	2900
16.7	<i>Mazovia (model)</i>	18	168,2	3900	22000	3600
11.9	<i>J. Śniadecki</i>	19	155,1	2500	11840	1500
14.5	<i>Povl Anker</i>	22	121,2	2100	12400	1500
17.9	<i>Skania</i>	22	173,7	3500	29178	2800
17.2	<i>Wawel</i>	24	164,0	3680	13020	4200
25.0	<i>Polonia</i>	24	169,9	3700	15840	6400
15.0	L=200 Ystad (model)	19	200	5000	27000	4000
18.1	L=230 Ystad (model)	21	230	5800	33000	6000
15.6	Euroterminal 186	19	186	3385	21600	2600
17.9	Euroterminal 218	21	218.8	5000	41580	4000
26.7	Gotlandia I	26	112	1400	28320	750
24.0	Boomerang	24	82	1000	24000	0



Rys. 5.1. Wiatry krytyczne dla różnych promów (zielone są potwierdzone w praktyce i na ich podstawie stworzono model regresji)



Rys. 5.2. HSC *Gotlandia* widok z boku

5.1.2. Prom *Blue Line*

Blue Line to jednostka obecnie eksploatowana w Japonii. Jej główne parametry przedstawiono w Tab. 5.3 i Rys. 5.3.

Tab. 5.3.

Parametry podstawowe promu *Blue Line*

Parametr	Symbol		Jednostka
Długość	L	85	m
Szerokość	B	14.4	m
Zanurzenie	T	4.1	m
Zanurzenie pusty	Tb	3.6	m
Wysokość jarzma rampy nad kilem	Hr	5.7	m
Liczba ramp	I	2	
Położenie ramp	P	Rufa i Dziób	
Długość rampy rufowej z klapą	Lr	6	m
Szerokość rampy rufowej	Br	10.4	m
Długość rampy dziobowej z klapą	Ld	6	m
Szerokość rampy dziobowej	Bd	8	m
Czy klapowa	K	Tak	
Długość klapy	Lk	1.5	
Ciężar rampy rufowej	Wr	bd	kg
Ciężar rampy dziobowej	Wd	bd	kg



Rys. 5.3. Prom *Blue Line*, widok z rufy

5.1.3. *Glen Sannox*

To prom, który ma wejść niedługo do eksploatacji dla armatora szkockiego. Jego parametry przedstawiono w Tab. 5.4 i Rys. 5.4.



Rys. 5.4. Prom *Glen Sannox*, widok z boku

Tab. 5.4

Parametry podstawowe promu *Glen Sannox*

Parametr	Symbol		Jednostka
Długość	L	102	m
Szerokość	B	17	m
Zanurzenie operacyjne	T	3.4	m
Zanurzenie pusty	Tb	3.0	m
Wysokość jarzma rampy nad kilem	Hr	5.7	m
Liczba ramp	I	2	
Położenie ramp (furt)	P	Rufa i Dziób	
Długość rampy rufowej z klapą	Lr	7.2	m
Szerokość rampy rufowej	Br	zmienna	m
Długość rampy dziobowej z klapą	Ld	bd	m
Szerokość rampy dziobowej	Bd	bd	m
Czy klapowa	K	Tak	
Długość klapy	Lk	1.5	
Ciężar rampy rufowej	Wr	bd	kg
Ciężar rampy dziobowej	Wd	bd	kg

5.1.4. Algeciras Jet

Algeciras Jet jednostka HSC wskazana potencjalnie przez zamawiającego. Jej parametry przedstawiono w Tab. 5.5. i Rys. 5.5.

Tab. 5.5.

Parametry podstawowe promu *Glen Sannox*

Parametr	Symbol		Jednostka
Długość	L	60	m
Szerokość	B	16.5	m
Zanurzenie operacyjne	T	2.2	m
Zanurzenie pusty	Tb	1.9	m
Wysokość jarzma rampy nad kilem	Hr	2.6	m
Liczba ramp	I	1	
Położenie ramp	P	r	
Długość rampy rufowej z klapą	Lr	8.9	m
Szerokość rampy rufowej	Br	6.2	m
Długość rampy dziobowej z klapą	Ld	nd	m
Szerokość rampy dziobowej	Bd	nd	m
Czy klapowa	K	tak	

Długość klapy	Lk	2.4	
Ciężar rampy rufowej	Wr	bd	kg
Ciężar rampy dziobowej	Wd	nd	kg



Rys. 5.5. Prom HSC *Algeciras Jet*, widok z boku

5.1.5. Inne promy analizowane

Inne jednostki, których parametry określono na podstawie materiałów zdjęciowych przedstawiono na Rys. 5.6 do Rys. 5.13. Ich parametry zebrane wraz z innymi wyliczeniami przedstawiono w Tab. 5.6.



Rys. 5.6. Prom Landegode, widok z rufy



Rys.5.7. Prom Nothern Sea Wolf



Rys.5.8. Prom Aqua Jewel



Rys.5.9. Prom Korcula



Rys. 5.10. Prom Passió per Formentera



Rys.5.11. Prom Aqaba



Rys.5.12. Prom HSC Mykonos Jet



Rys.5.13. Prom Hebrides

Tab. 5.6. Parametry wszystkich analizowanych jednostek oraz ich średnie i wartości maksymalne

Nazwa parametru	Prom ->	Landegode	Nothern Sea Wolf	Aqua Jewel	Glen Sannox	Blue Line	Gotlandia	Algeciras Jet	Korcula	Passió per Formentera	Aqaba	Mykonos Jet	Hebrides	Prom "średni" lub max/min
Długość (L)		96	76	109	102	85	112	60	101	100	96	113	99	95.7
Szerokość (B)		16.8	15	16.8	17	14.4	15.7	16.5	17.3	17	17	16.5	15.8	16.3
Zanurzenie (T)		4	2.8	4.4	3.4	4.1	2.6	2.2	3.5	4	3.6	2.7	3.2	3.3
Zanurzenie balast (Tb)		3.5	2.5	3.9	3.0	3.6	2.3	1.9	3.1	3.5	3.2	2.4	2.8	2.9
Gdzie rampa (G?)		r/d	r	r	r/d	d/r	r	r	r/d	r	r	r	r/d	r
Długość rampy bez klap (Lr)		2	4	5.2	5.6	4.5	5.5	6.5	4	5.4	5.4	4.8	4.5	5.0
Wysokość rampy nad wodnicę (Hr)		2.8	1.7	2.7	1.7	1.6	2	2.6	2	1.8	2.1	2.8	2	2.1
Uwagi								HSC				HSC	bud. 2001	
Poziom rampy lądowej max [m]		3.6	2.3	3.5	2.3	2.4	2.5	3.1	2.7	2.5	2.8	3.4	2.7	3.6
Poziom rampy lądowej min [m]		2.5	1.5	2.5	1.5	1.4	1.8	2.5	1.8	1.6	1.9	2.6	1.8	1.4
Wysokość listwy odbojowej nad wodnicę (1 - jedna listwa, 2 - dwie listwy)		2.3/5.7 (2)	1.5	2	2.2	1.5/1.8 (1)	2.7	1.3/3.5 (2)	1.5	2.2	1.8	brak	2.3	
Wysokość odbojnicy min [m]		1.9	1.1	1.6	1.8	1.1	2.3	0.9	1.1	1.8	1.4	nd	1.9	0.9
Wysokosc odbojnicy max [m]		3.3	2.3	2.5	2.6	2.3	3.0	1.6	1.9	2.7	2.2	nd	2.7	3.3
Moc maszyn (P) [kW]					2x3000	2x2200	2x14000	2x7200						
Średnica śruby [m]					2.1	2.6	nd	nd						

6. Ocena istniejącej rampy lądowej (zjazdu) na Nab. Koszalińskim

6.1. Standardy dotyczące ramp przyjęte w opracowaniu

Standard brytyjski BS 6349 [BSI 2007 BS 6349-8:2007: Maritime structures. Code of practice for the design of Ro-Ro ramps, linkspans and walkways. a guide to procurement, operation and maintenance. BSI, Milton Keynes], który jest rozszerzeniem standardu ISO 6812 [ISO 6812-1983: Specification for roll on/roll off ship-to-shore connection: interface between terminals and ships with straight stern/bow ramps], lecz przewyższa go w pewnych rozwiązaniach, szczególnie dotyczących kształtu zjazdu w części od wody.

6.1.1. Główne elementy standardu BS 6349 w zakresie rzędnych ramp statkowych

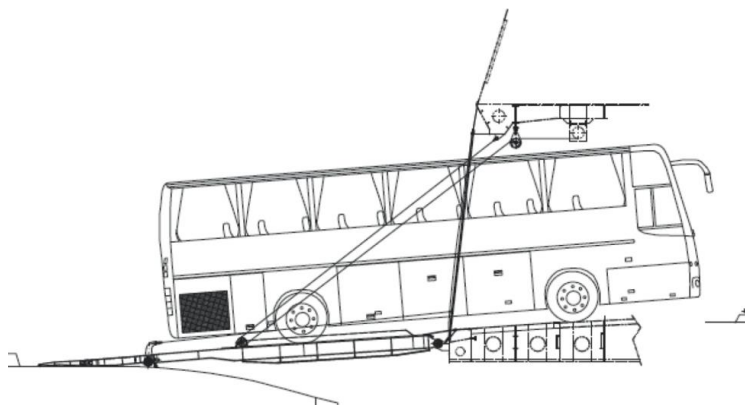
Maksymalne nachylenie rampy statkowej przyjmowane jako 1:10 i 10:1 (czyli 10% lub +/-5,7 stopnia).

Generalnie przyjmuje się, że rampa statkowa ma mieć jak najmniejsze nachylenie podczas eksploatacji

Konserwatywnie gdy zakres pracy rampy statkowej jest nieznana przyjmowana jest wartość nachylenia max/min jako +/- 1 stopień.

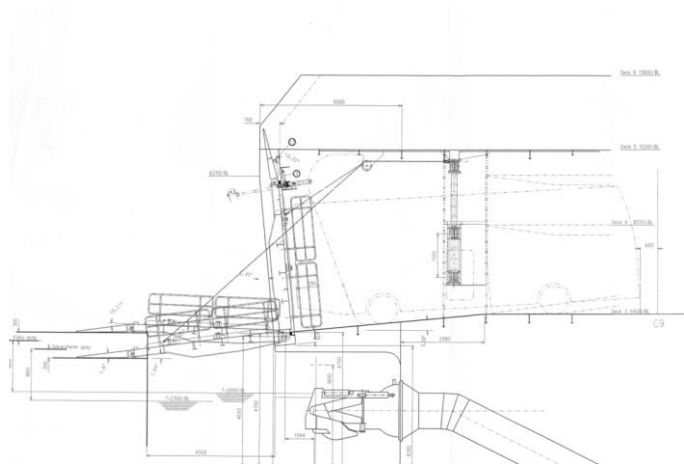
W opracowaniu przyjęto zakres pracy rampy statkowej **+/-5 stopni** dla promów mających poziomy najazd na główny pokład i odpowiednio modyfikowany kąt dla jednostek *Gotlandia* i *Algeciras Jet* jako mających pochyłą część wjazdu na główny pokład.

Niektóre promy w tym *Algeciras Jet* posiadają nachylony pokład Ro-Ro co wiąże się z koniecznością utrzymania rampy pod pewnym kątem. Kąt optymalnej pracy rampy tego promu to ok. -4 stopnie, a nachylenie pokładu to -3 stopnie (Rys. 6.1.). Zatem w opracowaniu przyjęto zakres pracy rampy *Algeciras Jet* jako +2 do -5 stopni.



Rys. 6.1. Układ rampy na *Algeciras Jet* (widać wpływ pochylonego pokładu głównego na wjazd autobusu)

Gotlandia posiada określony w planie generalnym zakres pracy rampy i został on odpowiednio przyjęty. *Gotlandia* (Rys. 6.2) ma nachylony pokład główny Ro-Ro o kącie -5 stopni, a zakres pracy rampy to -7,5 do +2 stopnia. Zakres górny wydaje się być trudnym do pokonania dla autobusów.

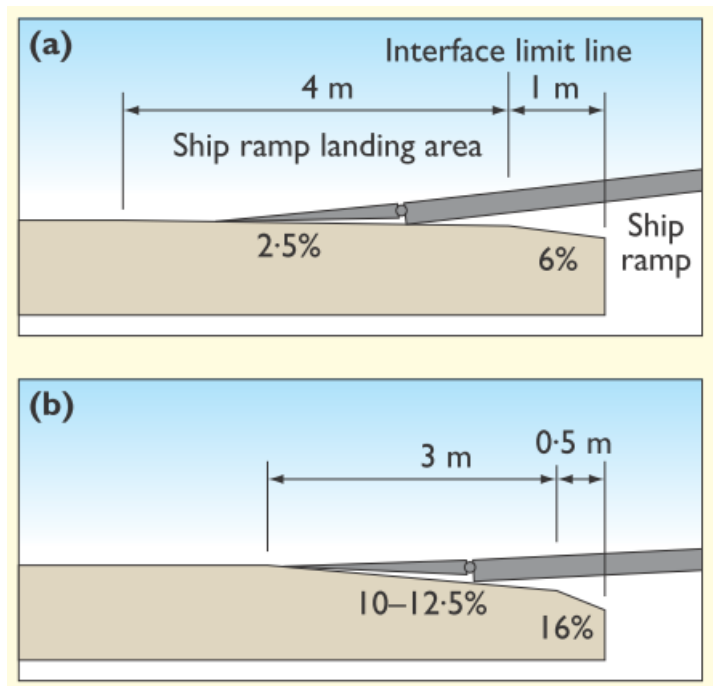


Rys. 6.2. Układ rampy na Gotlandii (widać wpływ pochylego pokładu głównego na wjazd autobusu)

6.1.2. Główne elementy standardu BS 6349 w zakresie rzędnych ramp i najazdów na lądzie:

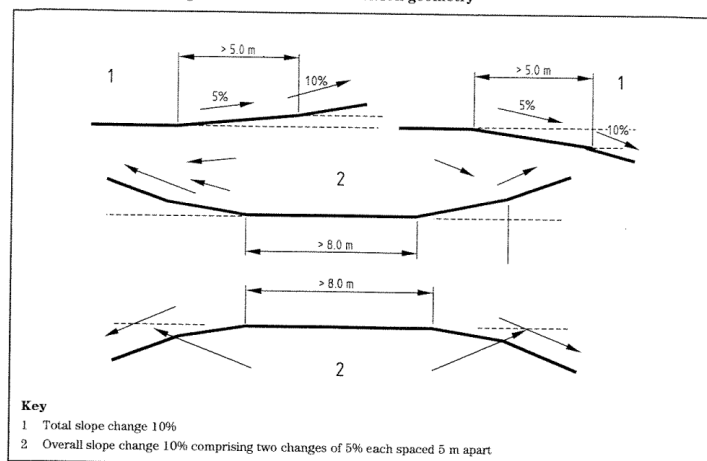
Generalnie spadki maksymalne najazdów i ramp 1:10 (=10%, =5,7 stopni).

Standard brytyjski jest bardziej dogodny dla wjazdu dla pojazdów niskopodwoziowych z uwagi na specjalne wyprofilowanie końcówki rampy lądowej co widać na Rys.6.3.



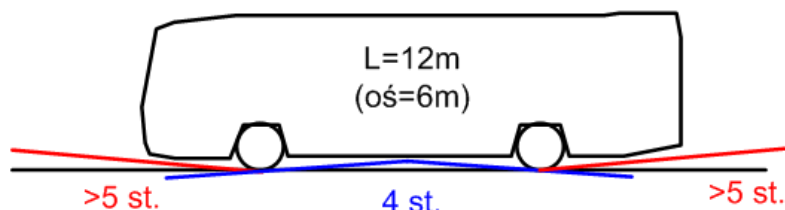
Rys.6.3. Porównanie standardu ISO (a) i BS 6349 (b) w zakresie zakończenia zjazdów Ro-Ro (BS 6349 jest dogodniejszy na ramp statkowych zakończonych klapami)

Figure 11 Preferred transition geometry



Rys. 6.4. Typowe elementy przejściowe geometrii połączeń i zjazdów Ro-Ro za standardem brytyjskim BS 6349

Typem pojazdów jaki będzie najbardziej problematyczny dla rozwiązania rampy w Kołobrzegu są autobusy turystyczne 2 osiowe. Maksymalna długość takiego pojazdu to 13,5m. Jako typowy przyjęto autobus Mercedes O 404 RHD o długości 12m i rozstawie osi 6m. Pojazd pokonuje wzniesienie o kącie początkowym najazdu wynoszącym 5 stopni, a kąt rampowy (kąt przeszkody na jaką może najechać) to ok. +/-4 stopnie od poziomu.



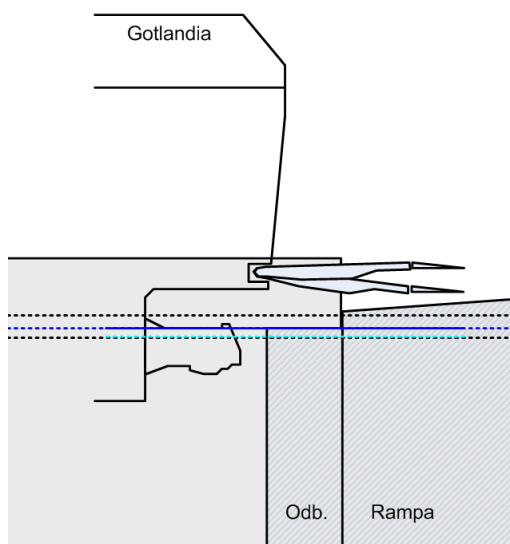
Rys. 6.5. Maksymalne kąty wzniesienia dla najazdu przodem i tyłem oraz kąt rampowy dla typowego autobusu

6.2. Ocena kompatybilności wybranych promów z rampą istniejącą

W punkcie przedstawiono rozważania dotyczące możliwości bezpiecznego rozładunku wybranych promów na istniejącej rampie, tak aby spełnić odpowiednie założenie i normy, w tym BS.

6.2.1. Gotlandia

Na Rys 6.6. przedstawiono układ rampy statkowej i zjazdu istniejącego dla *Gotlandii*, która ma określone zakresy pracy rampy (Rys. 6.2). W Tab. 6.1. przedstawiono kompatybilność dla różnych stanów wody i załadowania. Widać, że *Gotlandia* nie może być eksploatowana w sposób ciągły na istniejącym zjeździe.



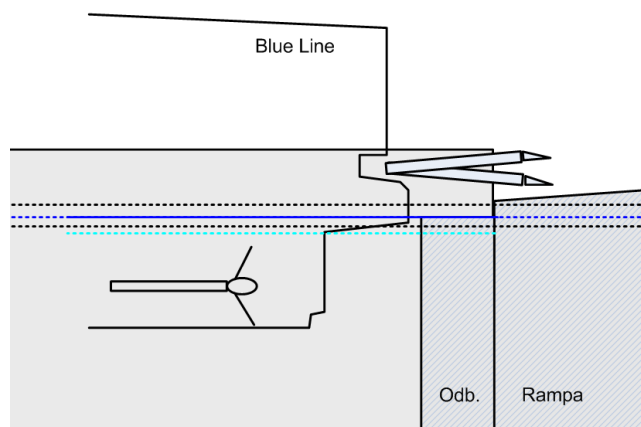
Rys. 6.6. *Gotlandia*, poziom wody średni, zanurzenie – załadowany

Tab. 6.1. *Gotlandia*, kompatybilność z istniejącą rampą

Kompatybilność	SNW	SW	SWW
Załadowany	tak	nie	nie
Balast	nie	nie	nie

6.2.2. *Blue Line*

Na Rys 6.7. przedstawiono układ rampy statkowej i zjazdu istniejącego dla *Blue Line*, w zakresie pracy rampy statkowej +/- 5 stopni. W Tab. 6.2. przedstawiono kompatybilność dla różnych stanów wody i załadowania. Widać, że *Blue Line* nie może być eksploatowany w sposób ciągły na istniejącym zjeździe.



Rys. 6.7. *Blue Line* poziom wody średni, zanurzenie załadowany

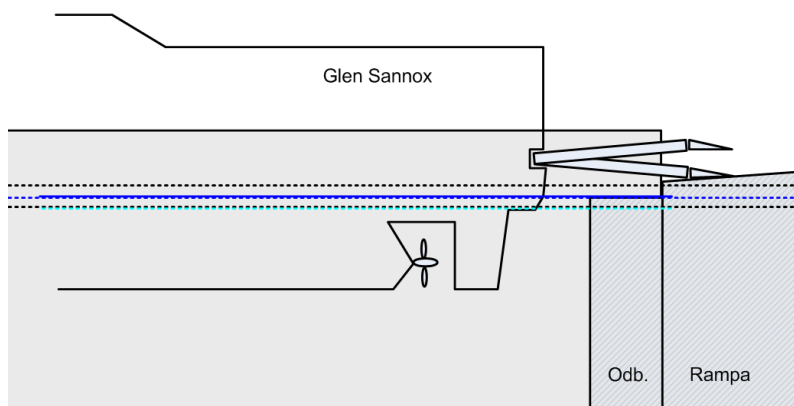
Tab. 6.2. *Blue Line*, kompatybilność z istniejącą rampą

Kompatybilność	SNW	SW	SWW
Załadowany	tak	nie	nie
Balast	nie	nie	nie

6.2.3. *Glen Sannox*

Na Rys 6.8. przedstawiono układ rampy statkowej i zjazdu istniejącego dla *Glen Sannox*, w zakresie pracy rampy statkowej +/- 5 stopni. W Tab. 6.3. przedstawiono kompatybilność dla różnych stanów

wody i załadowania. Widać, że Glen Sannox nie może być eksploatowany w sposób ciągły na istniejącym zjeździe.



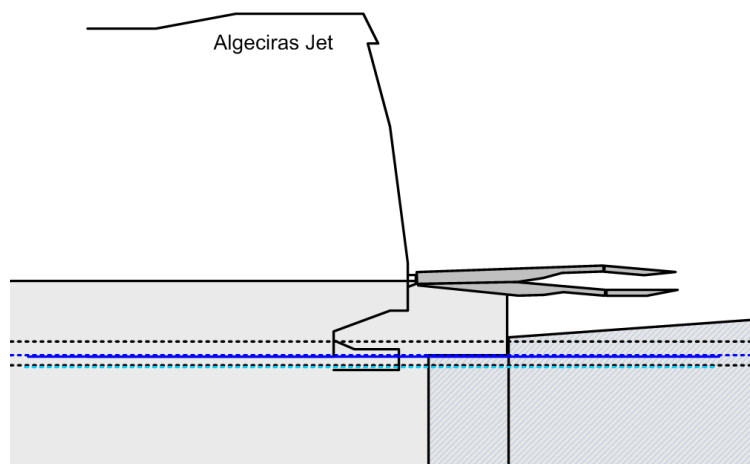
Rys. 6.8. *Glen Sannox*, poziom wody średni, zanurzenie załadowany

Tab. 6.3. *Glen Sannox*, kompatybilność z istniejącą rampą

Kompatybilność	SNW	SW	SWW
Załadowany	tak	tak	nie
Balast	tak	nie	nie

6.2.4. *Algeciras Jet*

Na Rys 6.9. przedstawiono układ rampy statkowej i zjazdu istniejącego dla *Algeciras Jet*, w zakresie pracy rampy statkowej -2 do +5 stopni. W Tab. 6.4. przedstawiono kompatybilność dla różnych stanów wody i załadowania. Widać, że *Algeciras Jet* nie może być eksploatowany na istniejącym zjeździe.



Rys. 6.9. *Algeciras Jet* poziom wody średni, zanurzenie załadowany

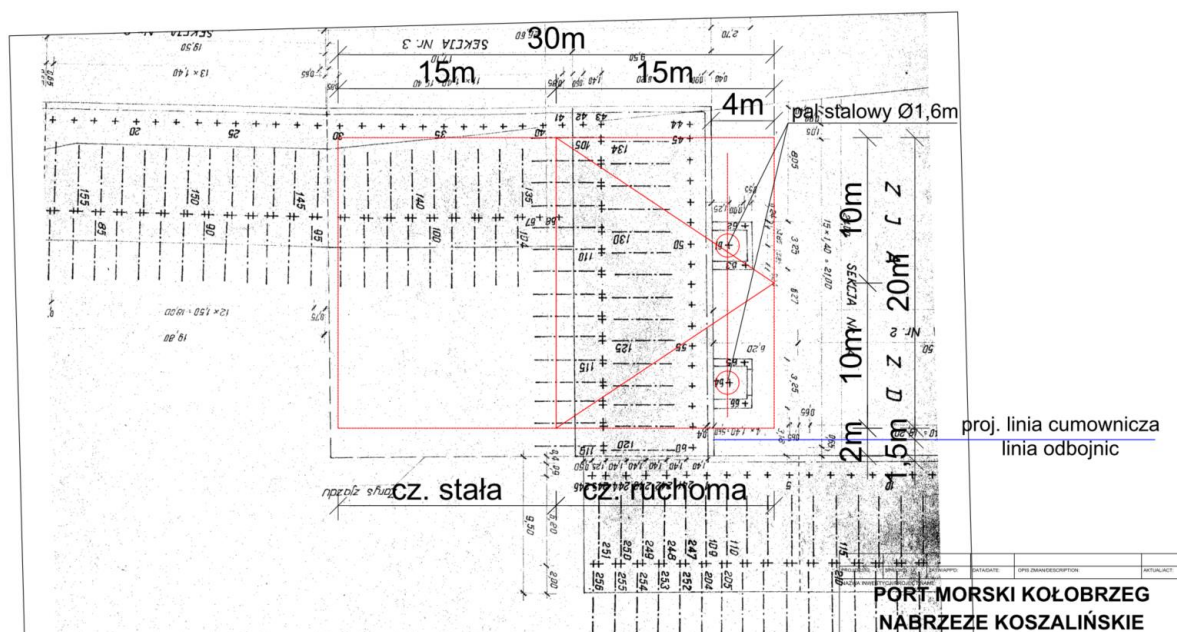
Tan. 6.4. *Algeciras Jet* kompatybilność z istniejącą rampą

Kompatybilność	SNW	SW	SWW
Załadowany	nie	nie	nie
Balast	nie	nie	nie

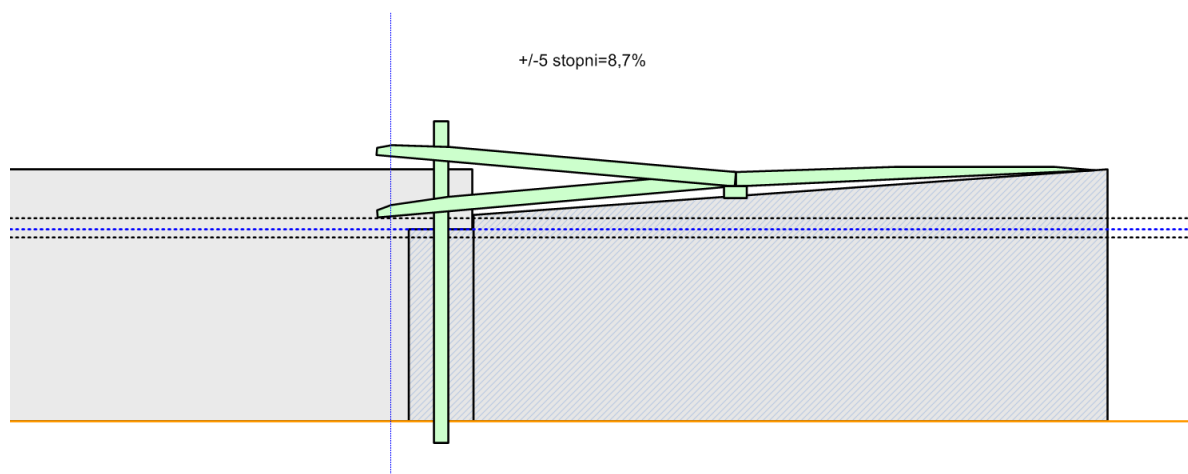
7. Ocena projektowanej rampy pod kątem rzędnych

Ocena kompatybilności wykonana zostanie dla wybranych jednostek i wychylenia rampy lądowej w zakresie +/-5 stopni (8,7%). Rampy statkowe zostaną wychylone o +/-5 stopni oprócz promów Go-landia i Algeciras Jet, których zakres pracy rampy przedstawiono wcześniej.

Układ projektowanej rampy ruchomej wykonanej przez P.B.P. INWEST przedstawiono na Rys. 7.1 oraz Rys. 7.2. (widok z boku, kąt wychylenia +/-5 stopni).



Rys. 7.1. Widok z góry na nowoprojektowany układ rampy wg. koncepcji P.B.P. INWEST



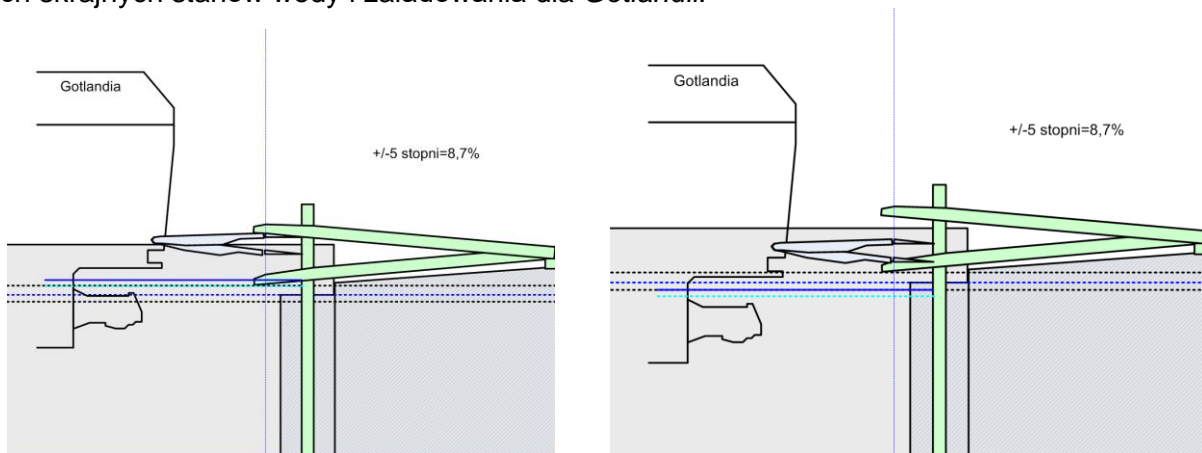
Rys. 7.2. Widok z boku na nowoprojektowany układ rampy ruchomej wg. koncepcji P.B.P. INWEST

7.1. Ocena kompatybilności nowoprojektowanej rampy w zakresie rzędnych dla wybranych promów

Ocenę wykonano dla 4 wybranych promów, których znane są dokładne parametry. Dodatkowo dla wszystkich analizowanych promów wykonano obliczenia maksymalnej i minimalnej rzędnej rampy (tab.5.1) wynika z nich, że rampa o zakresie ruchu od 1,4m do 3,6m od średniego stanu wody pozwoli na eksploatację wszystkich promów.

7.1.1. Ocena rzędnych *Gotlandii* dla projektowanej rampy

Wchylenia rampy *Gotlandii* przyjęto zgodnie z planem generalnym od +2,5 stopnia w górę do -7,5 stopnia w dół (pochyły wjazd na pokład główny). Na Rys. 7.3. przedstawiono rzut z boku i rzędne dla dwóch skrajnych stanów wody i załadowania dla *Gotlandii*.



Rys. 7.3. Dopasowanie *Gotlandii* do projektowanej rampy (lewa SWW, balast, prawa SNW – załadowany)

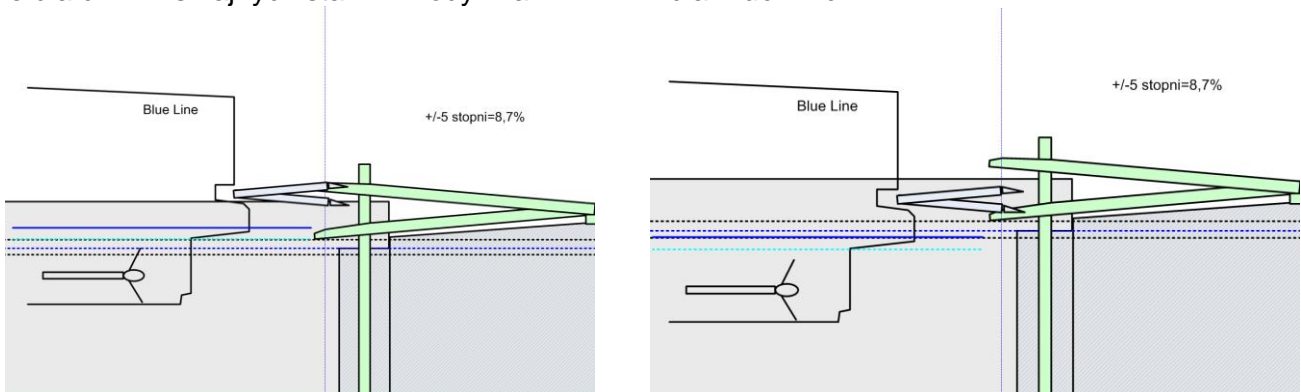
Kąt pomiędzy zawiasem rampy lądowej i statkowej:

1. SWW, balast: -0,7 stopnia
2. SNW, załadowany: +1,4 stopnia

Można wnioskować, że *Gotlandia* może być eksploatowana przy przyjętych zakresach pracy rampy projektowanej.

7.1.2. Ocena rzędnych *Blue Line* dla projektowanej rampy

Wchylenia rampy *Blue Line* przyjęto jako +/- 5 stopni. Na Rys. 7.4. przedstawiono rzut z boku i rzędne dla dwóch skrajnych stanów wody i załadowania dla *Blue Line*.



Rys. 7.4. Dopasowanie *Blue Line* do projektowanej rampy (lewa SWW, balast, prawa SNW – załadowany)

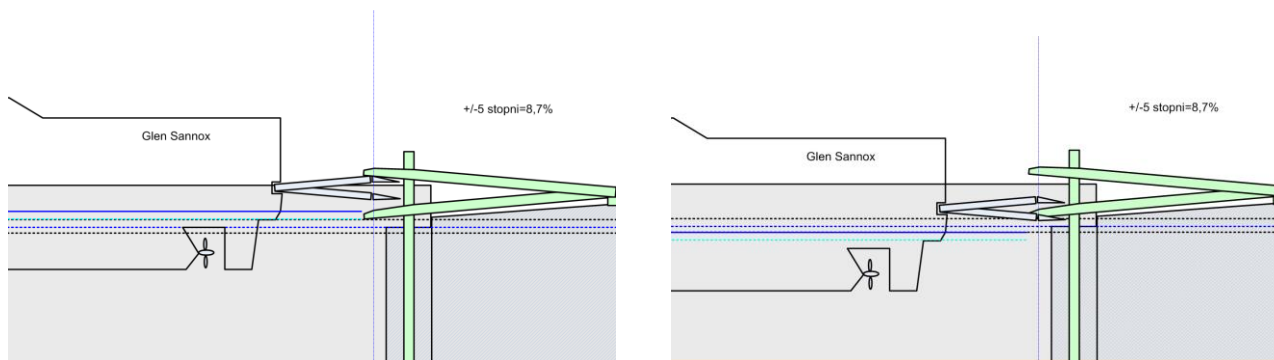
Kąt pomiędzy zawiasem rampy lądowej i statkowej:

1. SWW, balast: -2,6 stopnia
2. SNW, załadowany: +1,6 stopnia

Można wnioskować, że *Blue Line* może być eksploatowany przy przyjętych zakresach pracy rampy projektowanej.

7.1.3. Ocena rzędnych *Glen Sannox* dla projektowanej rampy

Wchylenia rampy *Glen Sannox* przyjęto jako +/- 5 stopni. Na Rys. 7.5. przedstawiono rzut z boku i rzędne dla dwóch skrajnych stanów wody i załadowania dla *Glen Sannox*.



Rys.7.5. Dopasowanie *Glen Sannox* do projektowanej rampy (lewa SWW, balast, prawa SNW – załadowany)

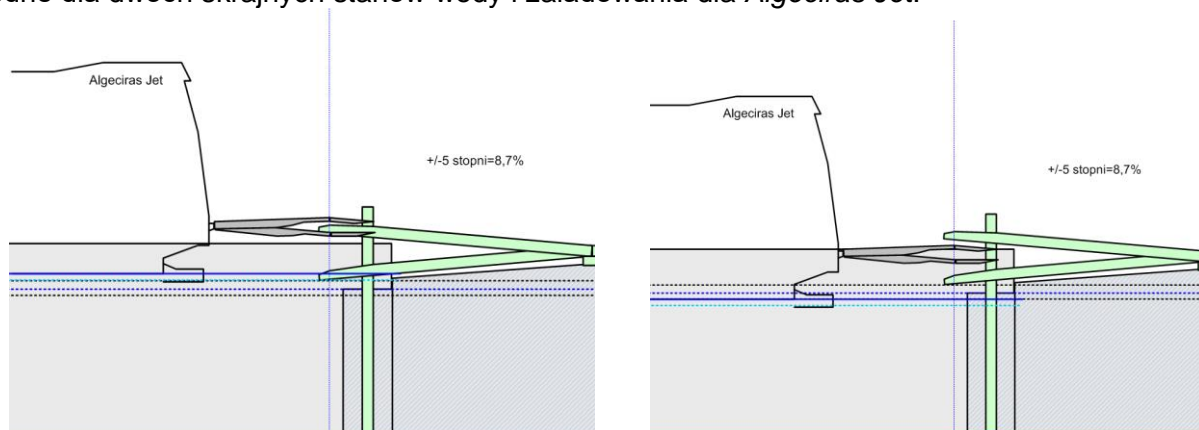
Kąt pomiędzy zawiasem rampy lądowej i statkowej:

1. SWW, balast: -0,9 stopnia
2. SNW, załadowany: +2,9 stopnia

Można wnioskować, że *Glen Sannox* może być eksploatowany przy przyjętych zakresach pracy rampy projektowanej.

7.1.4. Ocena rzędnych *Algeciras Jet* dla projektowanej rampy

Wchylenia rampy *Algeciras Jet* przyjęto jako -2 do +5 stopni. Na Rys. 7.6. przedstawiono rzut z boku i rzędne dla dwóch skrajnych stanów wody i załadunku dla *Algeciras Jet*.



Rys.7.6. Dopasowanie *Algeciras Jet* do projektowanej rampy (lewa SWW, balast, prawa SNW – załadowany)

Kąt pomiędzy zawiasem rampy lądowej i statkowej:

1. SWW, balast: -3,7 stopnia
2. SNW, załadowany: -0,5 stopnia

Można wnioskować, że *Algeciras Jet* może być eksploatowany przy przyjętych zakresach pracy rampy projektowanej.

8. Energia cumowania i strumienie zaśrubowe

8.1. Energia cumowania i odbojnice

Energię cumowania określono dla jednostki zbliżonej do maksymalnej o parametrach:
 $L=100\text{m}$, $B=16,5\text{m}$, $T=4,0\text{m}$, Wyporność $W=3.322\text{ ton}$, Współczynnik pełnotliwości kadłuba $C_b=0,53$.

Cumowanie burtą, kąt cumowania do 5 stopni co daje współczynnik ekscentryczności $C_e=0,5$

Promień bezwładności statku: $K=19,5\text{m}$, odległość S.C. od punktu uderzania: $24,4\text{m}$,

Współczynnik masy wody towarzyszącej $C_m=1,48$.

Struktura nabrzeża zamknięta (oporowe) i współczynnik konfiguracji nabrzeża $C_c=0,9$.

Odbojnice miękkie, współczynnik twardości odbojnicy $C_s=1,0$.

Jako warunki podejścia wybrano:

Cumowanie **łatwe, nabrzeże osłonięte** [PIANC].

Prędkość cumowania dla wybranej jednostki i warunków cumowania za PIANC [2002] wynosi $V_c=0,13\text{m/s}$.

Z uwagi na wytyczne EAU 2004 [EAU 2004] i ROM 2.0-11 [ROM 1999] które sugerują, iż prędkość cumowania bez holowników może być 2 – 3 razy większa w niekorzystnych warunkach, a 1,3 – 2,3 razy większa w dogodnych warunkach, przyjęto prędkość cumowania bez holowników jako 2x większą od nominalnej tj.: **$V_c=0,25\text{m/s}$** .

Dla współczynnika bezpieczeństwa $W_b=1,25$ otrzymujemy energię cumowania równą:

Energia nominalna : $E_n=68\text{kNm}$

Energia ze współczynnikiem bezpieczeństwa $E_{wb}= W_b \cdot E_n =85\text{kNm}$

Nabrzeże należy wyposażyć odbojnice miękkie z płytą poślizgową o energii cumowania **85kNm**.

Odstęp pomiędzy odbojnicami 0,25L najkrótszego statku jaki ma cumować. Dla jednostki $L=60\text{m}$ powinien wynosić 15m, a dla jednostki $L=100\text{m}$, 25m. Proponuje się wartość pośrednią tj. ok. 20m.

Odbojnice (płytkowe, 3 sztuki) na narożniku nabrzeża Koszalińskiego powinny absorbować większą energię rzędu 120kNm (dla prędkości uderzenia $V=0,3\text{m/s}$).

Wysokość płyty odbojnicy określono za pomocą wysokości listew cumowniczych wybranych jednostek (Tab. 5.6). Wykonując obliczenia dla różnych poziomów wody i zanurzeń jednostek wysokość płyty odbojowej powinna obejmować wartość od 0,9m do 3,3m (wysokość 2,4m) od średniego poziomu wody. Mnożąc przez współczynnik bezpieczeństwa ($\times 1,5$) płyta o wysokości 3,5m zapewni odpowiednią pracę systemu, co daje minimalny poziom płyty odbojowej nad średni poziom wody 0,3m, maksymalny poziom 3,8m od średniego poziomu lustra wody.

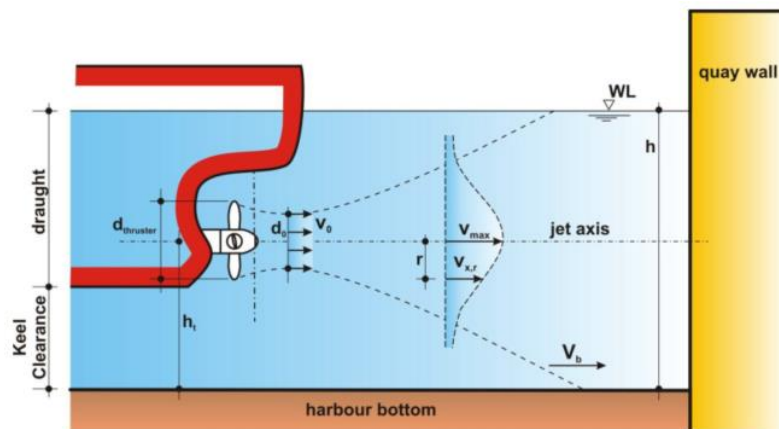
8.2. Strumienie zaśrubowe

Prędkość strumienia zaśrubowego od pędników głównych przy dnie określono osobno dla promu maksymalnego o napędzie konwencjonalnym (*Glen Sannox*) oraz dla HSC *Gotlandia*.

8.2.1. Promy konwencjonalne

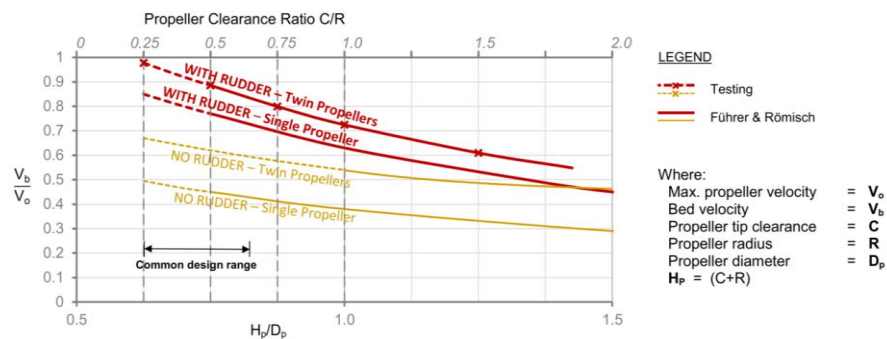
Jako prom konwencjonalny wybrano prom o największej mocy maszyn czyli *Glen Sannox*. Ma on parametry: moc maszyn $P= 2 \times 3.000\text{kW}$, średnica śruby $D_p=2,1\text{m}$, manewruje na głębokości $H=8\text{m}$, posiada 2 śruby konwencjonalne i stery umieszczone za śrubami.

Obliczenia wykonano na podstawie PIANC [2015]. Schemat działania strumienia zaśrubowego przedstawiono na Rys. 8.1.

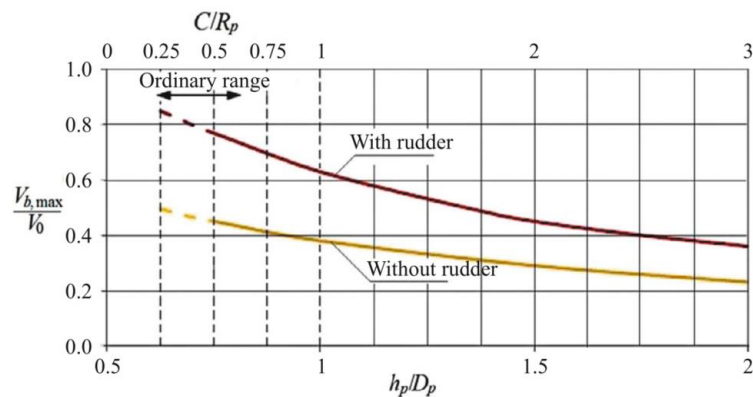


Rys. 8.1 Schemat działania i przyjęte oznaczenia przy określaniu prędkości strumienia zaśrubowego przy dnie

Przyjęto współczynniki dla śrub na podstawie PIANC [2015] oraz [Hawkswood M., Groom J. Hawkswood G. BERTH SCOUR PROTECTION FOR SINGLE & TWIN PROPELLERS PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018]. Przedstawiono je na Rys. 8.2 i 8.3.



Rys. 8.2. Współczynniki dla strumienia zaśrubowego dla różnych parametrów odległości od dna i układu napędu i sterów [PIANC 2015]



Rys. 8.3. Współczynniki dla strumienia zaśrubowego dla różnych parametrów odległości od dna i układu napędu i sterów [Hawkswood i inni 2018]

Obliczenia strumienia zaśrubowego dla *Glen Sannox* manewrującego przy Nab. Koszalińskim przedstawiono w Tab. 8.1.

Tab. 8.1.

Obliczenia prędkości strumienia zaśrubowego przy dnie dla *Glen Sannox* przy Nab. Koszalińskim

Nazwa	Symbol	Formuła	Wartość	Jednostka	Uwagi
Długość całkowita	L		102	m	
Szerokość	B		17	m	
Zanurzenie	T		3.4	m	
Głębokość	H		8	m	

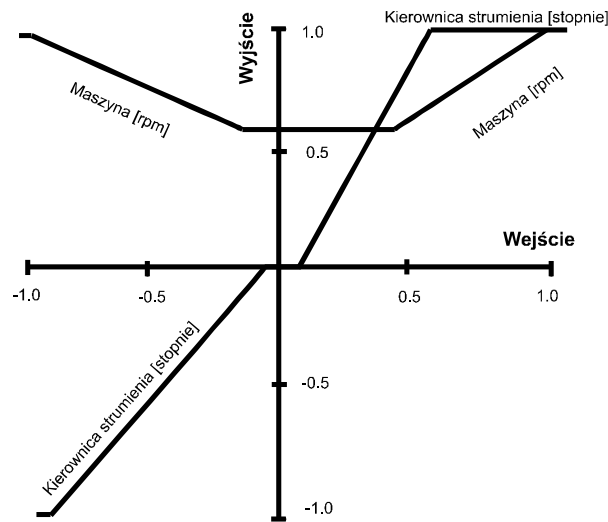
Moc maszyn kW	P	P/1.3	3000	kW	1 maszyna
Średnica śruby	Dp		2.1	m	
Liczba śrub	n		1	bez.	
Czy śruba w dyszy			0		0 - nie, 1- tak
Wsp. dla śruby ()	c		1.48	bez.	1,48 - otwarta, 1,17 - dysza
Współczynnik mocy	f		0.46	bez.	dla nastawy 70%
Gęstość wody	ro		1	t/m ³	
Prędkość strumienia za śrubą	V0	$V0=c*(f*P/ro*(Dp)^2))^{1/3}$	10.0	m/s	
Głębokość do średnicy śruby	PCR	$PCR=(C+R)/Dp$	2.69	bez.	
Odległość końca śruby do dna	C	$C=H-T$	4.6	m	
Promień śruby	R	$R=Dp/2$	1.05	m	
Współczynnik odległości do dna	PCR	$PCR=C/R$	4.38	bez.	
Czy posiada ster			1		1 - tak 0 - nie
Wsp. prędkości przy śrubie do przy dnie	Vb/V0		0.25	bez.	wykres ekstrapolacja
Prędkość strumienia przy dnie	Vb	$Vb=V0*(Vb/V0)$	2.51	m/s	

Reasumując można spodziewać się prędkości rzędu 2,5m/s dla promu używającego 70% mocy napędu, co dla manewrów codziennych jest wartością znaczną i może powodować rozmycie dna, a zatem wymaga umocnienia dna w okolicy urządzeń napędowych i rampy lądowej, zgodnie z normami polskimi [Zalecania 2006] lub PIANC [2015].

8.2.2. Promy HSC

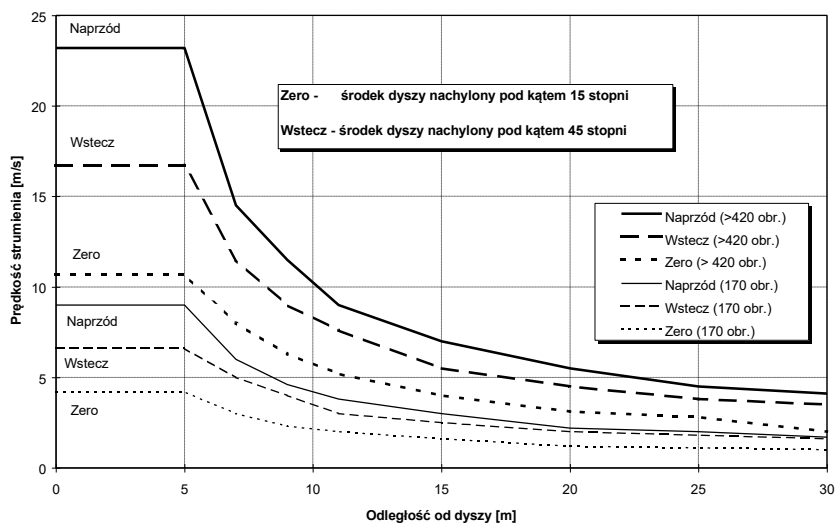
Układ napędowy promów HSC różni się znacznie od układu ster-śruba promów konwencjonalnych, których oddziaływanie na budowle hydrotechniczne zostało stosunkowo dobrze opisane. Prom Gotlandia napędzany jest systemem czterech dysz, które podczas manewrów portowych pracują parami napędzanymi dwoma silnikami o mocy całkowitej 2x14.000kW. Pojedyncza dysza może przy nastawie CN wyrzucać do 9m³ wody na sekundę przy prędkości strumienia około 23 m/s przy wylocie dyszy. Strumień może być wyrzucany zarówno w płaszczyźnie horyzontalnej jak i wertykalnej. Kierunek wyrzutu strumienia w płaszczyźnie horyzontalnej może zmieniać się w zakresie 0 do 30 stopni na prawą i lewą burtę, a wertykalnej od 0 do 45 stopni, gdzie 0 stopni oznacza wyrzut strumienia po powierzchni wody (nastawy naprzód), a 45 stopni wyrzut strumienia pod kadłub promu (nastawy wstecz). Dla nastawy zero strumień kierowany jest pod kątem 15 stopni pod kadłub promu, aby zrównoważyć siłę wzdłużną. Różnica pomiędzy oddziaływaniem strumienia zaśrubowego statku o napędzie konwencjonalnym a strugowodnym zaznacza się przede wszystkim na nastawach wstecz, gdzie w tym pierwszym strumień opływa kadłub statku wytracając częściowo swoją prędkość a w drugim strumień jest kierowany bezpośrednio pod kątem zależnym od położenia kierownicy pod kadłub promu.

W trybie pracy portowej manewrujący nawigator ma tylko pośredni wpływ na ustawienia dysz, gdyż steruje nimi program komputerowy, na którego wejściu znajdują się nastawy z manetki uniwersalnej i pokrętła obrotowego, a na wyjściu trzy wartości: ustawienia par dysz w płaszczyźnie horyzontalnej (-30 do +30 stopni), obroty maszyn (nie rewersyjne, śruby o stałym skoku) oraz kąt nachylenia kierownicy strumienia (0 do 45 stopni). Dwa ostatnie parametry dobierane są na podstawie krzywej łączonej (Rys. 8.4).



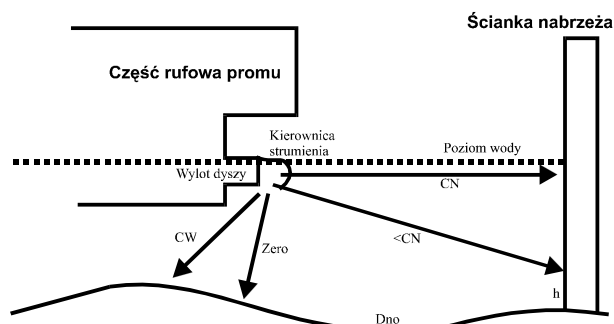
Rys. 8.4. Krzywa łączona.

Prędkości strumienia zaśrubowego promu określono wykonując analogię do promu *Boomerang* eksploatowanego przez PZB na trasie Swinoujście – Malmoe. Układ napędowy *Boomeranga* był stosunkowo podobny pod względem mocy do *Gotlandii* bo składał się z czterech silników wysokoprężnych MTU 20V 1163 TB73 o mocy 6.000 kW przy 1.200 obrotach każdy oraz czterech dysz napędowych KaMeWa typu 112 S II. Wartości szacowane prędkości strumieni zaśrubowych określone na podstawie analogii do mocy silników dla promu *Gotlandia* dla różnych reżimów pracy dysz przedstawiono na Rys. 8.5.

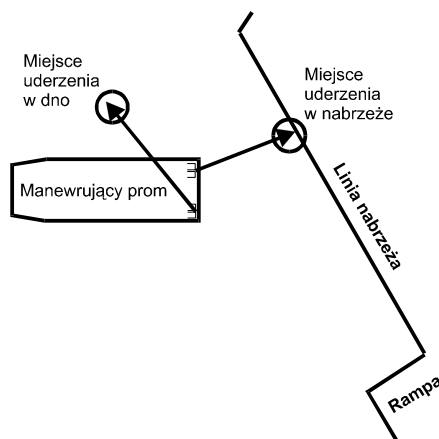


Rys. 8.5. Prędkość strumienia zaśrubowego w funkcji nastaw i odległości od dysz dla *Gotlandii*.

Określenie punktu uderzenia strumienia za dyszami jest zadaniem trudnym i zależy od nastaw i położenia promu. Na Rys. 8.6. i Rys. 8.7 przedstawiono przykładowe kierunki uderzenia strumieni za dyszami w zależności od nastaw w płaszczyźnie poziomej i pionowej.



Rys. 8.6. Możliwe miejsca uderzenia strumienia zaśrubowego w zależności od nastaw (widok z boku).



Rys. 8.7. Możliwe miejsca uderzenia strumienia zaśrubowego w zależności od nastaw (widok z góry).

Konkludując dla głębokości średniej 8m i położenia dysz promu HSC *Gotlandia* w pobliżu lustra wody można spodziewać się przy dnie prędkości od **4m/s** (bardzo wolno wstecz) do **8m/s** (cała wstecz) co jest wartością znaczącą i powoduje konieczność zabezpieczenia dna w rejonie wykonywania manewrów tj. okolicach rampy zgodnie z wytycznymi polskimi [Zalecenia 2006] lub PIANC [2015].

9. Wnioski

W pracy przedstawiono szereg rozważań dotyczących możliwości eksploatacji typoszeregu promów typu Ro-Pax na Nab Koszalińskim zarówno dla istniejącej rampy jak i projektowanej.

Wykonano analizy dokładnych parametrów 4 promów, w tym 3 wybranych przez Zamawiającego oraz dodatkowo 8 promów zbliżonych do maksymalnych dla Kołobrzegu (rozdział 5). Daje to pokazną próbkę statystyczną. Dane promów i ich główne parametry przedstawiono w Tab. 5.6.

W pracy określono jak należy postępować w przypadku eksploatacji jednostek większych niż pozwalają na to obecne przepisy portowe (rozdział 4).

Główne wnioski opracowania są:

1. Istniejąca infrastruktura w postaci zjazdu betonowego i odbojnic nie zapewniają bezpiecznych manewrów dla jednostek planowanych (rozdział 6).
2. Proponowany układ rampy ruchomej spełnia warunki bezpiecznej eksploatacji dla wszystkich badanych promów (rozdział 7).
3. Jako, że obecne odbojnice na Nab. Koszalińskim nie spełniają warunków bezpiecznego manewrowania, określono energię cumowania i sposób zabezpieczania nabrzeża przed uderzeniem statków podczas podejścia do nabrzeża (rozdział 8).
4. Określono prędkości zaśrubowe przy dnie dla promu HSC oraz konwencjonalnego, po to aby stanowiły one wartości projektowe dla zabezpieczania dna. Zabezpieczenie dna przed niszczącym działaniem strumienia zaśrubowego jest konieczne przy obecnej wartości głębokości technicznej oraz przy parametrach jednostek badanych (rozdział 8).

Bibliografia

1. Canadian Waterways National Maneuvering Guidelines: Channel Design Parameters; Waterways Development, Marine Navigation Services, Canadian Coast Guard, Fisheries and Oceans Canada, 1999.
2. British Standard. BS 6349-4:2014 - Maritime structures — Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems.
3. EAU 2004, Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways (po niemiecku), 2004.
4. Gucma L. Zarządzanie ryzykiem w rejonie mostów usytuowanych nad drogami wodnymi w aspekcie uderzenia jednostek pływających. AM w Szczecinie 2012.
5. Gucma S. Inżynieria Ruchu Morskiego. Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.
6. Hensen H. Tug use in Port. The Nautical Institute. 2003.
7. Locja Bałtyku. 502. Wydawnictwo BHMW. Gdynia 2016.
8. PIANC 1984. Report of the International Commission for Improving the Design of Fenders Systems. Supplement to PIANC Bulletin no. 45, Bruksela.
9. PIANC 2002. Permanent International Association of Navigation Congresses. Guidelines for the Design of Fender Systems: 2002. Report of Working Group 33 of the Maritime Navigation Commission, 2002.
10. PIANC 2014. Harbour Approach Channels Design Guidelines. PIANC report no 121. Maritime Navigation Commission. PIANC 2014.
11. PIANC 2015. Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships. PIANC report 180.
12. 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.
13. 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.
14. Thoensen J. Port design Handbook. ICE Publishing 2014.
15. USACE, United States Army Corps of Engineers: Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects. Washington, 2006.
16. Zalecenia do projektowania morskich budowli hydrotechnicznych. Praca zbiorowa pod red. B. Mazurkiewicza. 2006.