

CHARAKTERYSTYKA ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH GRAWITACYJNYCH FALOCHRONÓW PIONOWOŚCIENNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM REDUKCJI FALOWANIA

Streszczenie

W artykule przedstawiona została analiza porównawcza metod redukcji obciążenia oddziaływującego na podmorskie ściany falochronów masywnych. Zawarto krótką charakterystykę konstrukcji falochronów typu pionowościennych, sposobu przejmowania przez nie obciążeń od falowania oraz zagrożeń wynikających z tych obciążeń. Przedstawiono kierunki rozwoju nowoczesnych konstrukcji osłaniających akwatoria portowe.

WSTĘP

Wszystkie morskie falochrony należą do grupy budowli hydrotechnicznych, stanowiących swego rodzaju fundament poddany oddziaływaniom wiatru, falowania morskiego, prądu wody i lodu. Z punktu widzenia zagadnień posadowienia tej grupy budowli hydrotechnicznych podstawowa różnica do lądowych konstrukcji polega na złożoności oddziaływań w długich cyklach oddziaływań dynamicznych oraz sporych wymiarach ciężkich prefabrykatów składających się na duży wymiar fundamentów.

Morskie konstrukcje wymagają wszechstronnych analiz w zakresie wzajemnego oddziaływania układu środowisko-budowla-podłoże. Tego typu analizy, w związku z coraz bardziej szczegółowym rozpoznaniem wpływu środowiska, prowadzą do nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych. W analizach wzajemnego oddziaływania budowli i podłoża, pierwszym istotnym czynnikiem jest obciążenie zewnętrzne, działające bezpośrednio na budowlę lub podłoże, a szczególnie jego charakterystyka. Wyróżnia się tutaj ogólnie oddziaływania statyczne i oddziaływania dynamiczne z tym, że podstawowym parametrem decydującym o zakwalifikowaniu oddziaływania do jednej czy drugiej grupy jest zmienność jego wartości w czasie i okresowość jego przyłożenia. Oddziaływanie dynamiczne występuje z reguły w postaci drgań pochodzących zarówno od impulsów ścisających jak i rozciągających w układach płaskich oraz przestrzennych, należy rozróżnić przy tym dwa rodzaje oddziaływań [1]:

1. Oddziaływania, które przykładane są bezpośrednio do budowli i są przenoszone przez budowle na podłoże, na którym budowla spoczywa. Typowym są oddziaływania od falowania, dla których częstotliwości są stosunkowo małe i wynoszą od około 0,05 do 0,5 Hz. Częstotliwości te ulegają zmniejszeniu wraz ze wzrostem oddziaływania.
2. Oddziaływania wywołane między budowlą i podłożem oraz wewnątrz budowli i to z chwilą, gdy budowla zacznie podążać za ruchami podłoża. Będą to przede wszystkim oddziaływania od trzęsienia ziemi, które wywołują ruchy podłoża bardzo często zastępowane przez oddziaływania dynamiczne przyłożone do różnych części budowli.

Podstawowa różnica między powyższymi oddziaływaniami dotyczy spektrum częstotliwości oraz czasu trwania danego obciążenia. Siły pochodzące od trzęsienia ziemi występują z częstotliwością od 0,1 do 10 Hz w bardzo krótkim czasie trwania ruchów podłoża, są to oddziaływania wyłącznie dynamiczne.

Natomiast oddziaływania od falowania są sumą oddziaływań dynamicznych oraz statycznych. Powtarzając za Mazurkiewiczem [1], w hydrotechnice morskiej nazywa się je zwykle obciążeniem zmiennym. Oddziaływanie dynamiczne ma charakter cykliczny,

dotatkowo występuje nieregularnie i w nieregularnych odstępach czasu, podczas których podłoże i budowla przyjmuje z powrotem charakter statyczny. Zmienne obciążenia zawsze dotyczą hydrotechnicznych konstrukcji pełnomorskich oraz falochronów. Szczegółowa analiza wzajemnego oddziaływania podłoża i budowli zależy w pierwszej kolejności od ustalenia rodzaju oddziaływań, od określenia ich wpływu na poszczególne elementy budowli a także od możliwości oceny poszczególnych parametrów podłoża, na którym budowla morska ma stanąć, w warunkach rzeczywistych, z uwzględnieniem głębokości dna morskiego w miejscu projektowanej konstrukcji.

Oddziaływania na budowle scharakteryzowane są w postaci oddziaływania całego środowiska morskiego, a więc z uwzględnieniem maksymalnej prędkości wiatru najniekorzystniejszych warunków powstawania falowania i jego parametrów, najniekorzystniejszych warunków tworzenia się lodu i pól lodowych łącznie z określeniem kierunków i prędkości ich pochodzenia, najniekorzystniejszego oddziaływania statku (siły parcia i ciągnięcia z uwzględnieniem falowania) oraz najniekorzystniejszego oddziaływania prądów wodnych naturalnych i wywołanych działaniem napędów statków (prądy lub strumienie zaśrubowe) [1].

Analiza wzajemnego oddziaływania środowiska morskiego, budowli i podłoża wymagać będzie określenia sił i momentów występujących poziomie posadowienia budowli, jako miejsca krytycznego. Bardzo istotne jest prawidłowe określenie parametrów ośrodka gruntowego (min. współczynnika Poissona) oraz obciążeń pochodzących od falowania morskiego na konstrukcje hydrotechniczne.

Powyższe dość długie rozważania wstępne wskazują jak skomplikowane są z punktu wzajemnego oddziaływania całego układu, morskie budowle hydrotechniczne. W efekcie wciąż są poszukiwane i wprowadzane nowatorskie rozwiązania konstrukcyjne, których celem jest jak najlepsze dopasowanie konstrukcji do warunków morskich. Niniejsza praca zawiera analizę jednego typu obciążenia środowiskowego – obciążenia od falowania, działającego na jeden rodzaj konstrukcji hydrotechnicznych: grawitacyjne falochrony morskie. W przypadku tego rodzaju konstrukcji większość prac badawczych jest ukierunkowana na wzrost zwiększenia właściwości redukujących ciśnienie, przejmujących obciążenie od falowania.

1. CHARAKTERYSTYKA OBCIĄŻEŃ ZMIENNYCH OD FALOWANIA DZIAŁAJĄCYCH NA KONSTRUKCJE MORSKICH FALOCHRONÓW GRAWITACYJNYCH

1.1. Ogólna charakterystyka konstrukcji falochronów grawitacyjnych

Choć historia projektowania konstrukcji pionowościennych falochronów grawitacyjnych sięga setek lat przed naszą erą – co jest szeroko opisane w pracach [2,3,6,12,13], to nadal pozostają one wyzwaniem dla projektantów z dziedziny hydrotechniki morskiej. Nowożytnie konstrukcje ciężkich falochronów pionowościennych zostały zestawione w tabeli 1. Wszystkie są konstrukcjami stawianymi na warstwie podsypki niewielkiej grubości spoczywającej bezpośrednio na dnie morskim. Różnica w konstrukcji polega na modyfikacji kształtu odmorskiej ściany, która ma służyć redukcji obciążeń od falowania morskiego.

1.2. Obciążenia hydrodynamiczne od falowania działające na odmorskie ściany falochronów

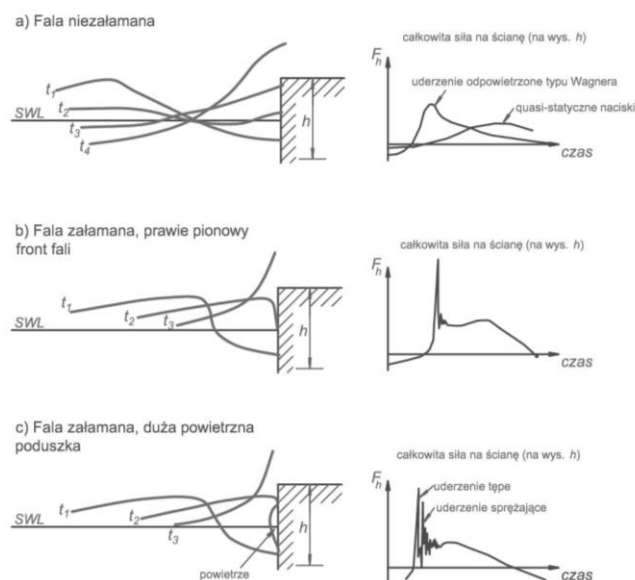
Jak wspomniano we wstępie obciążenia dynamiczne działające na falochron są funkcją warunków falowych i geometrii konstrukcji. Bardzo ważne jest określenie rodzaju falowania, które uderza cyklicznie w ścianę odmorską. Falowanie powierzchniowe oddziałujące na budowlę jest klasyfikowane jako napór fal niezalanych oraz napór fal załamanych, rys. 1. W przypadku fal niezalanych, obciążenie na ścianie falochronu ma przebieg łagodny w czasie. Są to obciążenia quasi-statyczne, gdyż okres fali jest znacznie większy niż okres drgań konstrukcji. Największe obciążenie jest przekazywane w przypadku zupełnego odbicia, które może mieć miejsce przy pionowych konstrukcjach odmorskich ścian falochronów. Właśnie taka sytuacja jest uwzględniana w praktyce projektowej.

Z kolei rozpatrując sytuację naporu fal załamanych należy uwzględnić dwa przypadki. Pierwszy, kiedy fala załamuje się w pewnej odległości od falochronu i oddziałuje na niego jako fala załamana z „poduszką powietrzną”¹, wywierając podwójne uderzenie, pierwsze większe, drugie mniejsze. Natomiast oddziaływanie fali załamanej może być jeszcze silniejsze, jeżeli fala załamie się bezpośrednio na ścianie konstrukcji o pionowym froncie. W efekcie na ścianie pojawia się bardzo wysokie ciśnienie hydrodynamiczne o ekstremalnie krótkim czasie trwania.

Obliczenia prezentowane w pracy wyraźnie różnicują podchodzącą falę, ponieważ nie można porównywać jednocześnie obciążeń od fal niezalanych, jak i załamujących się na ścianie konstrukcji.

2. METODY WYZNACZANIA ROZKŁADU CIŚNIEŃ DLA ODMORSKICH ŚCIAN FALOCHRONÓW GRAWITACYJNYCH

W niniejszym rozdziale zawarto metody obliczeniowe do określenia wielkości oraz rozkładu ciśnień, jakie są efektem oddziaływania falowania na odmorskie ściany masywnych falochronów pionowościennych. Tab. 1 zawiera zestawienie wszystkich praktycznych metod obliczeniowych stosowanych w hydrotechnice morskiej dla konstrukcji z wyszczególnieniem typu modyfikacji konstrukcji, rodzaju oddziaływującej fali oraz schematy rozkładu ciśnień falowych na ścianie odmorskiej. Obciążenie wywołane jest przez uderzenia fal załamanych i niezalanych, przy czym dla danej metody przy jednakowych obciążeniach są to wartości maksymalne



Rys. 1. Rodzaje oddziaływań na konstrukcję pionowościenną od fali niezalanej i załamanej [13]

Jako pierwsza wyszczególniona jest metoda Sainflou, która opisuje falę podchodzącą z kierunku prostopadłego do konstrukcji. Fala odbija się w sposób zupełny, tworząc regularną falę stojącą. Ograniczeniem jest tutaj brak możliwości stosowania w przypadku oddziaływania fal załamanych, jak również przy możliwym przelewaniu wody ponad koroną konstrukcji.

Schemat drugi przedstawia sposób wyznaczania rozkładu ciśnień falowych dla załamanych. Jest rozwiązanie zaproponowane przez Godę w 1974, [4,5,6] i do dziś należy do najczęściej stosowanych metod przy projektowaniu masywnych falochronów pionowościennych. W obliczeniach analizie poddana jest fala dwuwymiarowa, podchodząca do ściany w sposób ukośny.

Każda kolejna metoda dotyczy obciążeń od fal załamanych jest w zasadzie modyfikacją drugiego schematu. Warto odnotować, iż podczas przeprowadzonych badań, dotyczących warunków przedstawionych w schemacie III, trudne okazało się wygenerowanie warunków falowych w taki sposób, aby fale załamywały się w odpowiedni sposób, generując ekstrema o krótkim czasie trwania. Oznacza to tyle, że modele podczas badań nie zawsze odtwarzały poprawnie warunki falowe dotyczące sytuacji zamkniętych poduszek powietrza między falą a ścianą. Świadczy to o niezwyklej trudności przy prowadzeniu badań laboratoryjnych z udziałem budowli hydrotechnicznych poddanych oddziaływaniu fali. Szczegóły opisu poszczególnych rozwiązań znajdują się w pracach [4-11]

Schematy IV – VII przedstawiają wpływ niewielkich zmian konstrukcyjnych w odmorskiej ścianie i ich efekt w postaci redukcji obciążeń działających na budowlę. Największą modyfikacją jest dołączenie do masywnej konstrukcji ażurowej odmorskiej ściany i znajdującej się zaraz za nią komory wygaszającej. Te wciąż poddawane testom rozwiązania konstrukcyjne są bardzo obiecujące pod względem redukcji obciążeń, o czy mowa jest w następnym rozdziale.

3. PRAKTYCZNE PORÓWNANIE ANALIZOWANYCH METOD OBLICZENIOWYCH

Analiza porównawcza przedstawiona w poniższym rozdziale nie jest odzwierciedleniem obciążeń rzeczywistych, ponieważ jak dotąd nie ma metody „zupełnie dokładnej”. Nie oznacza to jednak, że nie można oszacować wielkości obciążeń pochodzących od

¹ z ang. Air pocket

falowania. Dwojakié podejście do obciążeń ścian falochronów, tj. uwzględnienie oddziaływania fal załamanych i niezałamanych również wskazuje jak skomplikowana jest natura falowania morskiego. Bardzo ważne jest rozgraniczenia rodzaju podchodzącej fali. Oddziaływanie fal niezałamanych jest cykliczne, powtarzalne w równych odstępach czasu przez cały czas trwania sztormu, natomiast pojawienie się fali załamanej ma charakter losowy i nie jest skorelowane z okresem fali.

Z uwagi na jednakié poziom spokoju powierzchni wody po obu stronach falochronu, tj. zarówno po stronie odmorskiej, jak i załamującej się, jest zaprojektowanie podsypki o właściwościach dyssypacyjnych lub zwiększenie stateczności całego układu dzięki użyciu techniki poprzecznych połączeń między kesonami, a także użycie skrzyń o zakrzywionym licu ściany [2,3].

Absolutnie innowacyjne są projekty, jak dotąd pozostające wyłącznie w sferze badań modelowych, konstrukcji będących modyfikacją przedstawionych w punkcie 3 falochronów ażurowych z komorą wygaszającą.

Oczywiście redukcja obciążeń, to nie jedyny sposób unowocześniania falochronów. Bardzo ważnym czynnikiem jest również redukcja współczynnika odbicia fali oraz przelewania się jej ponad koroną konstrukcji. Zmniejszenie współczynnika odbicia fali jest możliwe poprzez zastosowanie perforowanych skrzyń o zróżnicowanych kształtach i komorach falowych [12]. Z kolei, w drugim przypadku, zmiana kształtu konstrukcji nadbudowy pozwoli na redukcję przelewania się wody ponad jej koroną.

Wszystkie przedstawione rozwiązania możliwe są dzięki dużemu postępowi w prefabrykacji elementów budowlanych. Środowisko

Tab. 1. Metody obliczeniowe, opr. własne na podstawie [6, 13, 14]

Lp.	metoda	rodzaj falowania	konstrukcja	rozkład ciśnień
I	metoda Sainflou	fala stojąca	pionowa nieprzepuszczalna ściana	
II	metoda Gody	fala dwuwymiarowa – podchodzi ukośnie do ściany	pionowa nieprzepuszczalna ściana	
III	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi, Tanimoto i Shimosako	fala załamana	pionowa nieprzepuszczalna ściana	
IV	metoda Gody zmodyfikowana przez Tanimoto i Kimura	fala dwuwymiarowa – podchodzi prostopadle do ściany	pionowa nieprzepuszczalna ściana	
V	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi i Hosoyamada	fala dwuwymiarowa – podchodzi prostopadle do ściany	nieprzepuszczalna pochyla głowa konstrukcji	
VI	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi, Tanimoto i Shimosako	fala dwuwymiarowa – podchodzi prostopadle do ściany	pozioma złożona konstrukcja	
VII	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi	fala załamie się na w komorze wygaszającej	ażurowa konstrukcja z komorą wygaszającą	

morskie jest środowiskiem bardzo niesprzyjającym wykonywaniu robót betonowych w miejscu. Najkorzystniejsze jest stosowanie gotowych elementów odpowiednio przygotowanych w dogodnych warunkach. Należy jednak pamiętać, że każde nowe rozwiązanie musi być poprzedzone nie tylko odpowiednimi obliczeniami matematycznymi ale także badaniami modelowymi w małej skali, co generuje bardzo duże koszty. Dodatkowo badania laboratoryjne oraz obliczenia matematyczne są w stanie wyłącznie przybliżyć nas do warunków rzeczywistych, zawsze jednak z pewnym prawdopodobieństwem i nie ma możliwości, aby w sposób zupełny znać obciążenia od oddziaływującej fali.

odporowej w obliczeniach nie uwzględnia się ciśnień hydrostatycznych (siły hydrostatyczne w poziomie spokoju znoszą się).

3.1. Obliczenia

Obliczenia, których wyniki zostały zestawione w tab. 3, zostały wykonane dla takich samych warunków falowych zarówno dla oddziaływania fal niezłamanych, jak złamanych. Podobnie jak w pracach [4,13,14] założono, że pojawienie się fali załamującej się ma charakter losowy.

Dane obliczeniowe:

- Wysokość fali projektowej – 3,2 m,
- Okres fali – 5,8 s,
- Głębokość wody 7,5 m,
- Nachylenie podsypki 1:2,
- Nachylenie ściany w schemacie IV $\alpha = 80^\circ$,
- Nachylenie ściany w schemacie V $\alpha = 45^\circ$
- Nachylenie narzutu w schemacie VI 1:1,5.

Z analizy wyników wyraźnie wynika, że załamanie fali bezpośrednio na ścianie pionowościennej konstrukcji oddziałuje ze zdecydowanie większą siłą niż napór fali niezłamanej. Należy jednak wyraźnie podkreślić, iż w obliczeniach uwzględnia się oddziaływanie pojedynczej fali, a wezbranie sztormowe generuje wielokrotne powtarzalne oddziaływanie fal niezłamanych w cyklicznych odstępach, a tylko losowe oddziaływanie fali załamującej się.

Niezależnie od powyższego, można z pełną stanowczością stwierdzić, iż na redukcję siły wypadkowej ma wpływ geometryczny kształt konstrukcji, jak i jej rodzaj.

Dobre rezultaty otrzymuje się przy zastosowaniu pochylej ściany lica konstrukcji (schemat V), czego nie zauważa się w przypadku pochylecia całej odmorskiej ściany konstrukcji (schemat IV). Nato-

miast największą redukcję obciążeń uzyskuje się w przypadku zastosowania konstrukcji pionowościennej z umocnieniem przedpola w postaci narzutu ochronnego oraz przy zastosowaniu konstrukcji ze ścianą ażurową i komorą wygaszającą.

4. KIERUNKI ROZWOJU KONSTRUKCJI FALOCHRONÓW PIONOWOŚCIENNYCH

Nieustanny rozwój żeglugi morskiej, w tym ciągle projektowania większych statków handlowych wiąże się również z koniecznością stawiania przed rosnącymi wyzwaniami z bezpiecznym cumowaniem jednostek w portach. Podstawowym elementem tego bezpieczeństwa jest oczywiście ograniczenie falowania wchodzącego do portów poprzez konstrukcje falochronów. Dlatego też zdecydowana większość realizowanych prac badawczych na celu zwiększenie właściwości tłumiących w trakcie przyjmowania obciążeń pochodzących od falowania.

Z przedstawionej w poprzednim rozdziale analizy wyraźnie widać, iż redukcja obciążeń jest znaczna już przy niewielkiej modyfikacji kształtu odmorskiej ściany, poprzez jej pochycenie w całości lub w poziomie parapetu odrzutowego. Modyfikacja może mieć też nieco inny charakter. Na przykład w planie konstrukcji pionowa ściana może składać się z rzędu półcylintrycznych powłok. Wg autorów [2, 12] zależnie od głębokości w miejscu posadowienia tej zmodyfikowanej ściany, redukcja obciążeń od fali załamującej się bezpośrednio na ścianie konstrukcji może sięgać nawet do 45% w porównaniu z klasyczną konstrukcją pionowościennej.

Co więcej, pochylając pionowe lico powyżej poziomu spokoju tej półcylintrycznej ściany, możliwe jest uzyskanie dalszej redukcji obciążeń. Więcej szczegółów, łącznie z rysunkami, Czytelnik znajdzie w pracy [12].

Jednak każda z przytoczonych powyżej propozycji, mimo spełnienia oczekiwań redukcji obciążeń ścian odmorskich od falowania oraz nadzwyczaj dużej trwałości, jest rozwiązaniem bardzo kosztowym oraz wyjątkowo trudnym w realizacji od strony wykonawczej. Konieczność wykonania dużej ilości badań modelowych w dużej skali, badań numerycznych, nie tylko w płaskim układzie odniesienia, ale również w przestrzeni, skomplikowany kształt prefabrykatów i trudne do przewidzenia koszty utrzymania tego typu konstrukcji wciąż skutecznie studzą zapał projektantów przy realizacji rzeczywistych rozwiązań.

Tab. 3. Wyniki obliczeń

Lp.	Metoda	pozioma siła wypadkowa	Konstrukcja
I	metoda Sainflou (obc. falą niezłamana)	$F=272$ kN	pionowa nieprzepuszczalna ściana
II	metoda Gody (obc. falą niezłamana)	$F=212$ kN	pionowa nieprzepuszczalna ściana
II	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi, Tanimoto i Shimosako (obc. falą załamana)	$F=513$ kN	pionowa nieprzepuszczalna ściana
IV	metoda Gody zmodyfikowana przez Tanimoto i Kimura (obc. falą załamana)	$F=513$ kN	pionowa nieprzepuszczalna ściana
V	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi i Hosoyamada (obc. falą załamana)	$F=472$ kN	nieprzepuszczalna pochyła głowa konstrukcji
VI	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi, Tanimoto i Shimosako (obc. falą załamana)	$F=172$ kN	pozioma złożona konstrukcja
VII	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi (obc. falą załamana)	$F=150$ kN	ażurowa konstrukcja z komorą wygaszającą

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w dużym skrócie analiza obciążeń od falowania oraz matematyczne sposoby ich redukcji, zaproponowane przez uczonych np. w [2,5,9,10,11] wskazują jednoznacznie na rosnący trend w projektowaniu nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych. Wymusza to przede wszystkim rosnąca wielkość jednostek zawiązających do portów handlowych. Niemniej spora część tych propozycji pozostaje jak dotąd tylko w sferze projektów ze względu na olbrzymie koszty realizacji.

Mimo wszystko inwestorzy i projektanci poszukują nowatorskich rozwiązań, w których koszt realizacji, przy zakładanym współczynnikiem bezpieczeństwa będzie jak najmniejszy. Najważniejsze wnioski z obliczeń są następujące. Po pierwsze należy stawiać konstrukcje masywnych falochronów pionowościennych na takich głębokościach, gdzie na ściany odmorskie nie będą oddziaływać fale załamane. Po drugie należy zwrócić się w kierunku modyfikacji kształtu odmorskiej ściany, pochylając jej lico, stosując konstrukcję ażurową lub też w przypadku odpowiednio dużego przedpoła, za-

Tab. 2 Formuły matematyczne, opr. własne na podstawie [6,13,14]

Lp.	metoda	Wzory	oznaczenia
I	metoda Sainflou	$p_1 = (p_2 + \rho_w g h_s) \frac{H + \delta_0}{h_s + H + \delta_0} \quad (1)$	H – wysokość fali, [m],
		$p_2 = \frac{\rho_w g H}{\cosh(2\pi h_s / L)} \quad (2)$	p_1 – ciśnienie falowe w poziomie spokoju w fazie grzbietu fali, [kPa]
		$p_3 = \rho_w g (H - \delta_0) \quad (3)$	p_2 – ciśnienie falowe w podstawie konstrukcji pionowościennych, [kPa],
		$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth\left(\frac{2\pi h_s}{L}\right) \quad (4)$	p_3 – ciśnienie falowe w poziomie spokoju w fazie doliny fali, [kPa],
II	metoda Gody	$p_1 = 0,5(1 + \cos\beta)(\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_* (\cos\beta)^2) \rho_w g H_{proj} \quad (5)$	δ_0 – wzniesienie poziomu falowania ponad poziom spokoju, [m],
		$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta}\right) & \text{dla } \eta > h_c \\ 0 & \text{dla } \eta \leq h_c \end{cases} \quad (6)$	ρ_w – gęstość wody morskiej, [kN/m ³],
		$p_u = 0,5(1 + \cos\beta) \lambda_3 \alpha_1 \alpha_3 \rho_w g H_{proj} \quad (7)$	h_s – głębokość przy konstrukcji, [m],
III	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi, Tanimoto i Shimosako	$\alpha_{I0} = \begin{cases} H_{proj}/d & \text{dla } H_{proj}/d \leq 2 \\ 2,0 & \text{dla } H_{proj}/d > 2 \end{cases} \quad (8)$	L – lokalna długość fali, [m].
		$\alpha_{I1} = \begin{cases} \frac{\cosh \delta_2 / \cosh \delta_1}{1} & \text{dla } \delta_2 \leq 0 \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 (\cosh \delta_2)^{\frac{1}{2}}} & \text{dla } \delta_2 > 0 \end{cases} \quad (9)$	H_{proj} – wysokość fali projektowej zdefiniowana jako najwyższa fala na przedpołu konstrukcji, [m],
		$\delta_1 = \begin{cases} 20 \cdot \delta_{11} & \text{dla } \delta_{11} \leq 0 \\ 15 \cdot \delta_{11} & \text{dla } \delta_{11} > 0 \end{cases} \quad (10)$	B – kąt padania fali (kąt między grzbietem fali a frontem konstrukcji) [°],
		$\delta_{11} = 0,93 \left(\frac{B_m}{L} - 0,12 \right) + \left(\frac{h_s - d}{h_s} - 0,6 \right) \quad (11)$	α – współczynnik, $\alpha_* = \alpha_2$ [-],
IV	metoda Gody zmodyfikowana przez Tanimoto i Kimura	$\lambda_3 = \exp[-2,26(7,2l_d/L)^3] \quad (12)$ $l_d = h' \cot \alpha \quad (13)$	$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$ – współczynniki określane wg wzorów [-].
V	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi i Hosoyamada	$p'_1 = \lambda_{SL} p_1 \sin \alpha \quad (14)$	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – parametry zależne od typu konstrukcji; dla konwencjonalnych pionowych ścian, [-],
		$p'_2 = \lambda_{SL} p_2 \sin \alpha \quad (15)$	l_d – współczynnik, [m],
		$p'_{d_c} = \lambda_V p_{d_c} \sin \alpha \quad (16)$	λ_{SL} – współczynnik, [-],
		$p''_{d_c} = \lambda_V p_{d_c} \quad (17)$ $p'_3 = \lambda_V p_3 \quad (18)$	λ_V – współczynnik, [-],
VI	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi, Tanimoto i Shimosako	$\lambda_1 = \lambda_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{dla } H_{proj}/h_s < 0,3 \\ 1,2 - 0,67(H_{proj}/h_s) & \text{dla } 0,3 \leq H_{proj}/h_s \leq 0,6 \\ 0,8 & \text{dla } H_{proj}/h_s > 0,6 \end{cases} \quad (19)$	
		$\lambda_2 = 0 \quad (20)$	
VII	metoda Gody zmodyfikowana przez Takahashi	Fale na tylnej ścianie komory	$\lambda_{s1} \begin{matrix} 20l/3L' & (lL' \leq 0,15) \\ 1,0 & (lL' > 0,15) \end{matrix} \quad (21)$
			$\lambda_{s2} \begin{matrix} 0,56 & (\alpha^* \leq 25/28) \\ 0,5/\alpha^* & (\alpha^* > 25/28) \end{matrix} \quad (23)$ $\quad (24)$
		Fale na dnie komory	$\lambda_{s1} \begin{matrix} 20l/3L' & (lL' \leq 0,15) \\ 1,0 & (lL' > 0,15) \end{matrix} \quad (25)$
			$\quad (26)$

stosować narzut ochronny z bloków kształtowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Mazurkiewicz B.: *Nowoczesne rozwiązania morskich budowli hydrotechnicznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej 2006
2. Agershou H. i in. (2004): *Planning and design of ports and marine terminals*. Thomas Telford Books;
3. Allsop N.W.H. i Bray R.N. (1994): *Vertical breakwaters in the United Kingdom: historical and recent experience*, Proc. Int. Workshop on Wave Barriers in Deep Waters, pp76-100, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka,
4. Coastal Engineering Manual - Part V, (2002),
5. Goda, Y. (1974): *New wave pressure formulae for composite breakwater*. Proc. of 14th Int. Conf. Coastal Eng., Copenhagen, Denmark, ASCE, New York (1974), pp. 1702–1720,
6. PIANC PTC II WG28 (2003): *Breakwaters with Vertical and Inclined Concrete Walls. Report of Working Group 28 of the Maritime Navigation Commission*, International Navigation Association,
7. Sainflou, M. (1928): *Essai sur les Dignes Maritimes Verticales*. Annales des Ponts et Chaussées Vol. 98, t. 1, Tome 11,
8. Takahashi S.(2002): *Design of vertical breakwaters*. Revised Version of Reference Document No. 34, PHRI,
9. Takahashi S. and Hosoyamada S. (1994): *Hydrodynamic characteristics of sloping-top caissons*. Proc. of Int. Conf. on Hydro-technical Eng. for Port and Harbour Construction PHRI,
10. Takahashi, S., Tanimoto K. and Shimosako K. (1994): *A proposal of impulsive pressure coefficient for the design of composite breakwaters*, Proceedings of the International Conference on Hydro-Technical Engineering for Port and Harbour Construction, Yokosuka, Japan, 438–457,
11. Tanimoto, K. and Kimura, K., (1985): *A Hydraulic Experiment Study on Trapezoidal Caisson Breakwaters*. Technical Note N.528, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan.
12. Wawrzyńska A. (2012): *Kierunki rozwoju infrastruktury portowo-morskiej na przykładzie falochronów pionowościennych*. Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, nr 27/2012
13. Wawrzyńska A. (2013): *Metody redukcji obciążeń hydrodynamicznych dla odmorskich ścian masywnych falochronów stromych*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 82/2013
14. Wawrzyńska A., Magda W.(2014): *Redukcja obciążeń ścian falochronów pionowościennych przy zastosowaniu ścian ażurowych i komór wygaszających*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 87/2014

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF SOLUTIONS GRAVITY BREAKWATERS INCLUDING WAVE REDUCTION

Abstract

The article presents an analysis of comparative methods to reduce the load interacting on massive wall breakwaters. Contained a brief description of the construction of breakwaters type, the way the acquisition of the burden of waves and the risks resulting from these burdens. Presents the trends of modern construction protecting ports.

Autor:

mgr inż. Aleksandra Wawrzyńska – Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Transportu i Logistyki