Wstępna analiza przyczyn uszkodzenia elementów sztucznych raf (modułów) posadowionych w strefie brzegowej w okolicy Ustki

Dr inż. Piotr Szmytkiewicz¹, dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz¹, dr inż. Jan Schönhofer¹, mgr Jakub Malicki¹, dr inż. Tomasz Marcinkowski², dr Kazimierz Szefler² ¹Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN) ²Instytut Morski Uniwersytetu Morskiego w Gdyni

W ostatnich latach na środkowym wybrzeżu wykonano duże inwestycje hydrotechniczne w ochronę brzegów morskich. Budowano między innymi progi podwodne, opaski, ostrogi brzegowe, prowadzono sztuczne zasilanie brzegów oraz posadowiono nowatorskie, jak na warunki południowego Bałtyku, obiekty prefabrykowane, tak zwane elementy sztucznej rafy (dalej w skrócie moduły). Obiekty te miały spełniać trzy funkcje, a mianowicie: sprzyjać rozwojowi organizmów żywych, dyssypować energię fal przyboju oraz częściowo zatrzymywać rumowisko wynoszone ze strefy brzegowej w głąb morza. Po około roku od wybudowania część modułów uległa przesunięciu, część przewróceniu, połamaniu, część z nich została zasypana piaskiem. Celem pracy jest określenie przyczyn częściowego uszkodzenia modułów. Zakres pracy obejmuje analizę koncepcji projektowej oraz mechanikę ruchu pojedynczego elementu prefabrykowanego pod wpływem działania fal.

Przeprowadzoną analizę podsumowano:

- określając prawdopodobne przyczyny wystąpienia uszkodzeń,
- sugestiami działań jakie inwestor mógłby podjąć w celu usunięcia uszkodzeń,



Rys. 1. Obszar analizy 232,00 ÷ 232,85 KM, odcinek w sąsiedztwie portu Ustka

Tabl. 1. Trzy rodzaje (M1, M2 i M3) konstrukcji prefabrykowanych elementów sztucznej rafy – tak zwanych modulów

Rys. 2. Obszar analizy 232,00 ÷ 232,85 KM, odcinek w sąsiedztwie portu przed wykonaniem inwestycji

 wstępnymi rekomendacjami dla projektowania tego rodzaju obiektów posadawianych w strefie brzegowej południowego Bałtyku.

OBSZAR ANALIZY

Obszar analizy znajduje się na 232,00 ÷ 232,85 KM polskiego wybrzeża (rys. 1). Jest to odcinek brzegu, który charakteryzuje się silnymi procesami erozyjnymi. Na rys. 2 przedstawiono zdjęcie tego odcinka brzegu. Na fotografii widoczny jest brak plaży oraz masywna opaska kamienna chroniąca zaplecze brzegu morskiego przed erozją.

Opis wykonanej inwestycji

W odpowiedzi na obserwowane w tym miejscu procesy erozyjne przeprowadzono następujące inwestycje hydrotechniczne:

- wykonano sztuczne zasilanie plaży piaskiem w ilości 174 tys. m³;
- dokonano zasypu rynny erozyjnej pomiędzy km 232,50 ÷ 232,80 UM (19 tys. m³)¹;

- wybudowano cztery segmenty progu podwodnego (na potrzeby niniejszej pracy przez próg rozumie się falochron brzegowy o zanurzonej koronie) o długościach 150 i 200 m (przerwy pomiędzy progami 50 m)²;
- w przerwach między progami oraz w otoczeniu wschodniej i zachodniej głowicy skrajnych progów posadowiono na podsypce kamiennej 396 elementów sztucznej rafy (modułów);
- wybudowano 8 ostróg prostych (drewniane pale o średnicach 30 cm, odstępy do 20% wymiaru średnicy; każda z ostróg ma długość 180 m, a odległość między ostrogami wynosi od 100 do 120 m).

O ile wykonane sztuczne zasilanie, zbudowane progi oraz ostrogi są typowymi obiektami ochrony brzegów stosowanymi na polskim wybrzeżu, o tyle moduły zastosowano po raz pierwszy.

Moduły

Na rys. 3 widoczny jest plan rozłożenia modułów w jednej z przerw pomiędzy progami. W tabl. 1 przedstawiono wymiary trzech zastosowanych rodzajów konstrukcji. W tabl. 2 przedstawiono ich podstawowe parametry techniczne.

Tabl. 2. Masy, objętości i wymiar	y zastosowanych modułów
-----------------------------------	-------------------------

Rodzaj modułu	Masa modułu	Objętość modułu	Średnica zewnętrzna modułu	Wysokość modułu
M1	$m_1 = 5047 \text{ kg}$	$V_1 = 2,40 \text{ m}^3$	$D_1 = 2,44 \text{ m}$	$h_{m1} = 1,5 \text{ m}$
M2	$m_2 = 5015 \text{ kg}$	$V_2 = 2,39 \text{ m}^3$	$D_2 = 2,36 \text{ m}$	$h_{m2} = 2,0 \text{ m}$
M3	$m_3 = 5250 \text{ kg}$	$V_3 = 2,50 \text{ m}^3$	$D_3 = 2,30 \text{ m}$	$h_{m3} = 2,5 \text{ m}$

Zgodnie z projektem moduły posadawiano na podsypce kamiennej w symetryczny i uporządkowany sposób (rys. 3). Na rys. 4 i w tabl. 3 przedstawiono miejsca posadowienia poszczególnych rodzajów modułów.

¹ Poziom dna w rynnie wahał się w granicach -4,5 ÷ -5,0 m. Projektowany poziom zasypania wynosił -3,1 m.

² Progi podwodne wybudowano na odcinku o długości 850 m (232,00 ÷ 232,85 KM), oddalone od linii brzegowej o około 200 ÷ 230 m. Głębokość akwenu w tym rejonie wahała się w granicach -2,9 ÷ -3,6 m. Próg zbudowany jest z kamienia łamanego. Rzędna korony progu wynosi około -0,6 m. Szero-kość korony 6 m, szerokość podstawy około 23 m, nachylenie skarpy odmorskiej 1:4, odlądowej 1:2.

Rys. 3. Plan rozłożenia modułów w jednej z przerw pomiędzy progami

Rys. 4. Zdjęcie lotnicze omawianej inwestycji krótko po wybudowaniu. Na fotografii zaznaczono poszczególne progi (litery od A do D)

Lokalizacja	Liczba modułów	Rodzaj zastosowanego modułu				
Głowica zachodnia	54	M2				
Przerwa pomiędzy progami A i B	96	M2				
Przerwa pomiędzy progami B i C	96	M3				
Przerwa pomiędzy progami C i D	96	M2				
Głowica wschodnia	54	5 modułów typu M3 44 moduły typu M2 5 modułów typu M1				
W sumie	396					

Tabl. 3. Rozmieszczenie modułów siedliskowych w poszczególnych miejscach

WYSTĄPIENIE AWARII

Budowę wszystkich obiektów zakończono w 2016 roku. Na rys. 5 przedstawiono zdjęcia lotnicze wykonane w 2016 i 2018 roku. Na zdjęciach wyraźnie widoczne są zniszczenia poszczególnych modułów.

Główne wnioski wynikające z podwodnych inspekcji po pierwszym i drugim roku funkcjonowania budowli są następujące:

- głowica A, elementy typu M2 elementy poprzechylane, pozapadane i poprzesuwane w kierunku lądu poza obszar podsypki kamiennej, część z nich przysypana piaszczystym rumowiskiem do 95% swojej wysokości, po dwóch latach oszacowano uszkodzenia około 6% elementów,
- przerwa między segmentami A i B, elementy typu M2
 elementy poprzesuwane w kierunku lądu na odległość rzędu 1 ÷ 3 m, częściowo zasypane rumowiskiem, po dwóch latach nie stwierdzono uszkodzenia elementów,

Rys. 5. Zdjęcia lotnicze omawianej inwestycji w 2016 i 2018 roku.

- przerwa między segmentami B i C, elementy typu M3
 część elementów (83 sztuki) po jednym roku została zniszczona, pozostałe poprzesuwane, poprzechylane lub przewrócone, częściowo przysypane piaskiem, po dwóch latach 70 elementów nie odnaleziono; po dwóch latach od budowy 82% modułów zniszczonych,
- przerwa między segmentami C i D, elementy typu M2
 część elementów poprzesuwanych o około 2 ÷ 3 m w różnych kierunkach, część przechylona i częściowo przysypana piaskiem, po dwóch latach nie odnaleziono 14 elementów; zniszczeniu uległo 15% modułów,
- głowica D, elementy typu M3 (I i II rząd), M2 (od III do X rzędu), M1 (XI i XII rząd) – po stronie odmorskiej po pierwszym roku 12 elementów zniszczonych, po dwóch latach większość elementów w pierwszych dwóch rzędach zniszczona, po stronie odlądowej większość elementów poprzesuwana, poprzechylana, częściowo zasypana piaskiem, a kilka zniszczonych; po dwóch latach 39% modułów zniszczonych.

Podsumowując:

- zniszczeniu uległy głównie elementy usytuowane od strony odmorskiej, to jest bezpośrednio narażone na uderzenia załamujących się fal,
- awarii uległy elementy typu M3, to jest najwyższe na koronach, których w pierwszej kolejności załamywały się fale sztormowe,

 większość postawionych elementów uległa przesunięciu, częściowo zostały zasypane piaskiem.

ANALIZA PRZYCZYN AWARII

Wśród przyczyn częściowego zniszczenia elementów prefabrykowanych wyróżnić można te, które wynikają z przyjętych założeń koncepcyjnych funkcjonowania obiektów w środowisku morskim południowego Bałtyku oraz te związane z przyjętymi w projekcie budowlanym szczegółowymi rozwiązaniami ich posadowienia. Poniżej pokrótce omówiono obie grupy przyczyn.

Porównanie elementów sztucznej rafy stosowanych w świecie i przyjętych w Ustce

Konstrukcje typu modułów stosuje się na świecie od lat dziewięćdziesiątych XX w. Ze względu na swoją budowę (chropowatą powierzchnię, losowo zlokalizowane otwory) konstrukcje sprzyjają porastaniu i zagnieżdżaniu się wewnątrz organizmów żywych. Przeprowadzone z początkiem XXI wieku obserwacje terenowe skuteczności stosowania modułów siedliskowych w ochronie brzegu morskiego zaowocowały opracowaniem technologii budowy przypominających progi podwodne zestawów ażurowych modułów [1]. Z inżynierskiego punktu widze-

Rys. 6. Moduły stosowane na świecie (a) i moduły zastosowane w Polsce (b)

nia największą zaletą modułów siedliskowych jest łatwość ich posadowienia oraz relatywnie niski koszt budowy.

Na rys. 6 przedstawiono konstrukcje stosowane w świecie i te zastosowane w Polsce.

Podsumowując, przy opracowywaniu koncepcji zastosowania modułów w Ustce przyjęto:

- nieodpowiednio dobrany kształt elementu sztucznej rafy
 kształt walcowy ma zbyt wysoko położony środek ciężkości;
- posadowienie prefabrykatów w przerwach pomiędzy progami – w obszarze występowania największych prędkości przepływów wody – tak zwanych prądów rozrywających;
- nieodpowiednie miejsce posadowienia i wysokość prefabrykatów (porównywalna z wysokością progów podwodnych) wymuszająca załamywanie się fal;
- posadowienie prefabrykatów na podsypce kamiennej uniemożliwienie samoistnego zagłębiania się konstrukcji w dnie, co jest efektem pożądanym dla tego rodzaju konstrukcji;
- zbyt ciasne ułożenie elementów sztucznej rafy względem siebie – wzrost wartości momentów wywracających i sił przesuwających o co najmniej 30%.

Obliczenia momentów utrzymujących, wywracających i przesuwających

Dynamika ruchu wody wokół modułów siedliskowych nie jest w literaturze fachowej dostatecznie rozpoznana. Obiektem, którego kształt jest najbardziej zbliżony do prefabrykowanych elementów sztucznej rafy jest konstrukcja cylindryczna. W przypadku konstrukcji cylindrycznych, jeżeli stosunek średnicy konstrukcji cylindrycznej *D* do długości fali *L* spełnia warunek ($D / L \le 0,2$) [3], wówczas siły i momenty działające na konstrukcje cylindryczne można obliczać z wzoru Morisona. Równanie to w formie ogólnej ma postać:

$$F(t,z) = F_{M}(t,z) + F_{D}(t,z)$$
(1)

gdzie:

 $F_M(t, z)$ – siła bezwładności [N/m], $F_D(t, z)$ – siła naporu [N/m].

$$F_M(t,z) = \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot C_M \cdot D^2 \cdot u'(t,z)$$
(2a)

$$F_D(t,z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot D \cdot u(t,z) \cdot |u(t,z)|$$
(2b)

gdzie:

 $\begin{array}{ll} \rho & & - \mbox{ gestość wody [kg/m^3],} \\ C_{_M} & & - \mbox{ współczynnik inercyjny bezwładności [b.j.],} \end{array}$

 $C_{_M}$ – współczynnik inercyjny bezwładności $C_{_D}$ – współczynnik naporu [b.j.],

D = srednica walca [m],

u(t, z) – prędkość orbitalna cząsteczki wody w ruchu falowym [m/s],

u'(t, z) – przyspieszenie cząsteczki wody w ruchu orbitalnym[m/s²].

Prędkości i przyspieszenia cząsteczek wody w ruchu falowym wyznacza się z teorii liniowej.

Wypadkowa siła pozioma działająca na element

$$F_{c}(t) = \int_{-h}^{-z_{k}} F_{M}(t,z)dz + \int_{-h}^{-z_{k}} F_{D}(t,z)dz$$
(3)

gdzie:

z_k – rzędna korony elementu [m],

h – głębokość [m].

Obliczenia zmienności siły F_M i F_D w czasie przejścia fali nad modułem wyznaczono dla kątów faz fali od 0° do 360° z krokiem co 1°.

Celem określenia możliwości przesunięcia elementu względem podłoża obliczono wielkość siły utrzymującej F_{μ} :

$$F_u = f \cdot (G - W) \tag{4}$$

gdzie:

G – ciężar prefabrykatu [N],

W - siła wyporu [N],

f – współczynnik tarcia między podstawą modułu a podłożem [b.j.].

Jeżeli $F_c(t) > F_u$, to element ulegnie przesunięciu.

Wypadkowy moment siły poziomej działającej na element prefabrykowany

W celu określenia możliwości wywrócenia prefabrykatu (elementu sztucznej rafy) w trakcie przejścia fali obliczono wartości momentu wywracającego i utrzymującego względem poziomu dna:

moment wywracający

$$M_{W}(t) = \int_{-h}^{-z_{k}} (z+h) \cdot F_{M}(z,t) \cdot dz + \int_{-h}^{-z_{k}} (z+h) \cdot F_{D}(z,t) \cdot dz \quad (5)$$

Tabl. 4.	Wartości	liczbowe	nrzviete v	v obliczeni:	ach
1401. 4.	trai tosti	nezoone	pizyjęte v	, obliczenia	acm

Rodzaj modułu	Średnica elementu D [m]	Głębokość wody dla poziomu 500 cm <i>h</i> [m]	Poziom wody o $T_R = 20$ lat [cm]	Wysokość elementu h _m [m]	Wysokość fali <i>H_s</i> [m]	Okres fali $T_p[s]$	Ciężar elementu G [N]	Siła wyporu W[N]	Współczynnik poprawkowy <i>K</i> _{pl}
M1	2,44	2,4	648	1,5	2,28	8,9	49511	23544	1,3
M2	2,36	2,6 3,0 3,3	648	2,0	2,30 2,38 2,40	8,9 8,9 8,9	49197	23425	1,3
М3	2,30	3,4 3,7	648	2,5	2,42 2,44	8,9 8,9	51503	24525	1,3

Jeżeli odległość pomiędzy środkami elementów jest mniejsza od ($l < 3 \cdot D$), to obciążenie działające na przegrodę jest większe niż na pojedynczy element. Ten wzrost obciążeń w sposób przybliżony wyznaczono z zależności [2]:

$$[F_{\max}]_{przegroda} = K_{pl} \cdot [F_{\max}]_{modul}$$
(6a)

$$[M_{\max}]_{przegroda} = K_{pl} \cdot [M_{\max}]_{modul}$$
(6b)

gdzie:

 K_{pl} – współczynnik poprawkowy (wyznaczony z [3]).

moment utrzymujący

$$M_{utrzymujący} = [G - W] \cdot \frac{D}{2} \tag{7}$$

Założone wartości obliczeniowe

W tabl. 4 przedstawiono przyjęte w obliczeniach wartości liczbowe poszczególnych parametrów.

WYNIKI OBLICZEŃ

Na rys. 7 ÷ 12 przedstawiono wyniki obliczeń momentów wywracających oraz sił utrzymujących i przesuwających.

Wnioski z przeprowadzonych obliczeń stateczności prefabrykowanych elementów stanowiących sztuczną rafę są następujące:

Rys. 8. Obliczone wartości momentów utrzymujących i wywracających dla elementu typu M2 podczas przejścia fali o parametrach $H_{s1} = 2,30$ m, $H_{s2} = 2,38$ m, $H_{s3} = 2,40$ m, $T_p = 8,9$ s, poziom wody 648 cm

Rys. 9. Obliczone wartości momentów utrzymujących i wywracających dla elementu typu M3 podczas przejścia fali o parametrach $H_{s1} = 2,42$ m, $H_{s2} = 2,44$ m, $T_p = 8,9$ s, poziom wody 648 cm

Rys. 10. Obliczone wartości sił utrzymujących i przesuwających dla elementu typu M1 podczas przejścia fali o następujących parametrach: $H_s = 2,28$ m, $T_p = 8,9$ s i poziomie wody 648 cm

Rys. 11. Obliczone wartości sił utrzymujących i przesuwających dla elementu typu M2 podczas przejścia fali o następujących parametrach: $H_{s1} = 2,30$ m, $H_{s2} = 2,38$ m, $H_{s3} = 2,40$ m, $T_p = 8,9$ s i poziomie wody 648 cm

Rys. 12. Obliczone wartości sił utrzymujących i przesuwających dla elementu typu M3 podczas przejścia fali o następujących parametrach: $H_{s1} = 2,42$ m, $H_{s2} = 2,44$ m, $T_p = 8,9$ s i poziomie wody 648 cm

- w przypadku prefabrykatów typu M1 i M2 momenty utrzymujące są większe od momentów wywracających dla pełnego okresu przejścia fali nad elementami,
- w przypadku prefabrykatów typu M3 w momencie przejścia nad nimi maksymalnego wzniesienia (grzbietu fali) i maksymalnego obniżenia (doliny fali) chwilowe wartości momentów wywracających są porównywalne z momentami utrzymującymi,
- w przypadku wszystkich rodzajów elementów sztucznej rafy wielkości sił utrzymujących są zdecydowanie mniejsze od sił przesuwających w momencie przechodzenia nad nimi grzbietu bądź doliny fali.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto wartość współczynnika tarcia między prefabrykowanymi elementami sztucznej rafy a podłożem równy f = 0,25. Wartość tego współczynnika zaczerpnięto z literatury przedmiotu [2]. W kolejnych etapach analizy wartość tego współczynnika należałoby określić na podstawie szczegółowych badań laboratoryjnych i terenowych. Niemniej jednak, w opinii autorów, na potrzeby niniejszej analizy wartość f w przybliżeniu równą 0,25 można przyjąć jako wartość w przybliżeniu odpowiadającą rzeczywistości. Otrzymane wyniki obliczeń są w dużej mierze zgodne z obserwacjami w naturze. Z raportów nurków wynika bowiem, że zdecydowane większa liczba prefabrykatów została przesunięta, a nie przewrócona.

Należy także zwrócić uwagę na znaczną losowość oddziaływań falowania na moduły. Niezależnie od miejsca ich ustawienia (głowice, przerwy między segmentami) trudno jest *a priori* odpowiedzieć na pytanie, które z nich ulegną przesunięciu, przechyleniu, zasypaniu, przewróceniu lub całkowitemu zniszczeniu?

PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE PRZYCZYN AWARII

Zasadniczą przyczyną awarii prefabrykowanych elementów sztucznej rafy było:

- nieodpowiednio dobrany kształt elementu, w którym z zasady środek ciężkości położony jest zbyt wysoko,
- posadowienie prefabrykatów na podsypce kamiennej (uniemożliwienie samoistnego zagłębiania się konstrukcji w dnie) i wprowadzenie dodatkowego "mechanizmu" ułatwiającego przesunięcie się elementu w planie,
- zbyt duża wysokość elementów, porównywalna z wysokościami kamiennych progów, co w efekcie skutkowało wymuszeniem załamywania się fal na ich koronach (przy projektowaniu ochrony brzegu w postaci progów podwodnych zakłada się, że to obecność progów ma wymusić załamanie fal w trakcie przejścia nad nimi, stąd budowa ich z reguły w postaci kamiennych, wzajemnie zazębionych bloków),
- uniemożliwienie, poprzez posadowienie dużej liczby elementów sztucznej rafy w segmencie siedliskowym, swobodnego odpływu mas wody nagromadzonych blisko brzegu; przerwy pomiędzy poszczególnymi segmentami progów kamiennych powinny być całkowicie otwarte; tymi przerwami odprowadzana jest w postaci prądu rozrywającego spiętrzona przy brzegu woda,
- przy odpowiednio niskich wysokościach elementów prawdopodobieństwo ich uszkodzenia, przesunięcia lub nawet całkowitego zniszczenie byłoby zdecydowanie mniejsze.

Rys. 13. Położenie linii brzegowej w latach 2014-2017 na odcinku objętym analizą

REKOMENDACJE DALSZEGO POSTĘPOWANIA

Rozpatrując zastosowany system ochrony jako całość (to znaczy: sztuczne zasilanie, progi podwodne, ostrogi, moduły), należy stwierdzić, że od momentu wybudowania konstrukcje spełniają swoją nadrzędną rolę, to znaczy: brzeg morski jest chroniony przed erozją, a nawet lokalnie; w latach 2014-2017 doszło do dodatkowej akumulacji osadów (rys. 13).

W opinii autorów brak elementów prefabrykowanych, ich przesunięcie lub zniszczenie nie powoduje pogorszenia się funkcjonowania podstawowego systemu ochrony brzegu morskiego, jakim jest *próg – sztuczne zasilanie – ostrogi*. Umieszczenie elementów prefabrykowanych w przerwach pomiędzy progami spowodowało utrudnienie odpływu wody tymi przerwami ze strefy brzegowej, a to z kolei mogło przyczyniać się do wzmożenia i wzmocnienia nietypowych i gwałtownych w swoim przebiegu prądów rozrywających, które w sposób niekontrolowany mogły powodować przegłębiania się dna w sąsiedztwie poszczególnych progów. Z punktu widzenia bezpieczeństwa "pracy" progu (zapobieżeniu/ utrudnieniu powstawania wybojów i przegłębień) zasadne byłoby nie posadawiać nowych modułów w miejsce tych zniszczonych.

Należy również podkreślić, że uszkodzone lub przemieszczone pozostawione na dnie elementy sztucznej rafy mogą w dalszym ciągu przeciwdziałać wynoszeniu rumowiska ze strefy brzegowej. Zatem rola polegająca na przeciwdziałaniu wynoszenia rumowiska pozostaje spełniona. Należy natomiast przypuszczać, że w ciągu kolejnych lat w warunkach silnych sztormów, kiedy pierwsze odmorskie załamanie fali będzie miało miejsce nad koronami modułów, część z nich nadal będzie ulegać awarii.

Można również przypuszczać, że funkcjonalność "ekologiczna" modułów po awarii nie została zmieniona. Przewrócone, przesunięte, a nawet połamane moduły są nadal użyteczne dla morskiej flory i fauny (roślinność i organizmy żywe tak samo funkcjonują w uszkodzonym module).

W związku z powyższym IBW PAN nie rekomenduje posadawiania nowych prefabrykowanych elementów sztucznej rafy w miejsce zniszczonych. Istniejący system: *próg podwodny – sztuczne zasilanie – ostrogi – częściowo uszkodzony układ modułów siedliskowych* spełnia swą podstawowa rolę, jaką jest ochrona brzegu morskiego.

W sytuacji, gdy z powodów innych niż ochrona brzegów konieczne byłoby uzupełnienie istniejącego systemu modułów o nowe obiekty prefabrykowane, zaleca się przede wszystkim:

- nie stosować obiektów wyższych niż 1,5 m,
- zwiększyć masę elementów,
- obniżyć środek ciężkości elementu (na przykład powiększenie podstawy obiektu, zwiększenie masy u podstawy, zmniejszenie masy korony konstrukcji),
- rozproszyć obiekty w przestrzeni to znaczy odsunąć prefabrykaty od siebie na odległość rzędu od dwóch do czterech promieni elementu.

LITERATURA

1. Baine M.: Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. Ocean & Coastal Management 44 (2001) 241-299.

 Coastal Engineering Manual. USACE Publications (2002), EM 1110-2-1100

 Massel S. (red.): Poradnik hydrotechnika. Gdańsk: Wydawnictwo Morskie (1992) 340.