

Materiały polimerowo-cementowe jako skuteczna ochrona i naprawa powierzchni morskich budowli hydrotechnicznych

Mgr Krzysztof Saramowicz, mgr inż. Witold Majewski – PREMIX Spółka z o.o.

Mgr inż. Bożena Baraniecka – PPPP NAFTOPORT Spółka z o.o., inż. Mirosław Ciecierski – PPHU NUREKO

Wszelkie budowle hydrotechniczne morskie, a więc budowle nawodne i podwodne usytuowane na obszarach morskich, w rejonie bezpośredniego kontaktu z akwenami morskimi, to jest w pasie technicznym wybrzeża morskiego w portach i przystaniach morskich, narażone są na stałe negatywne oddziaływanie środowisk, w których funkcjonują. To negatywne oddziaływanie środowiska, objawiające się destrukcją korozyjną o różnej skali i zakresie, w każdym przypadku prowadzi to skrócenia „czasu życia” budowli. Obserwowane zmiany klimatyczne dłuższy czas lekceważone, rosnące stężenia substancji agresywnych chemicznie, zarówno w wodach jak i w powietrzu, systematycznie pogłębiają stan zagrożenia. W powszechnej ocenie i praktyce stopień zagrożenia budowli hydrotechnicznych, zarówno śródlądowych jak i morskich, jest szczególnie wysoki. Korozyjne uszkodzenia budowli stanowią sumę niszczących procesów chemicznych i fizycznych, a także biologicznych, które powstają, gdy projektowane zabezpieczenia betonu przestają działać (otulina, impregnacja, powłoka). Procesy destrukcji są nieuchronne i zdeterminowane termodynamicznie do stanu minimum energetycznego i wzrostu entropii [3].

MECHANIZM I IDENTYFIKACJA PRZYCZYŃ USZKODZEŃ KOROZYJNYCH

Podstawowe obserwowane przyczyny destrukcji korozyjnej konstrukcji żelbetowych stanowią: korozja mrozowa, korozja chlorkowa, korozja biologiczna i karbonatyzacja. W warunkach normalnych otulina betonowa stanowi barierę ochronną dla

zbrojenia stalowego. Dotyczy to w sposób oczywisty zarówno budowli usytuowanych w środowisku morskim, jak i narażonych na permanentny kontakt z roztworami substancji odladzających. Ma to miejsce wtedy, gdy konstrukcję zaprojektowano i wykonano zgodnie ze współczesnymi normami (PN-EN 1992-1-1, PN-EN 13670 i PN-EN 206).

W odniesieniu do konstrukcji starszych, na przykład z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, stosowane wówczas normy nie uwzględniały w wymaganym stopniu oddziaływania środowiska. W wielu budowlach z tego okresu skutki w postaci zmniejszonej trwałości żelbetu są widoczne na rys. 1.



Rys. 1. Efekty korozyjne – fragment nabrzeża

Do szczególnie niebezpiecznych okoliczności zaliczyć należy tak zwaną ukrytą korozję zbrojenia jako efektu działania jonów chlorkowych. Równie groźne efekty są skutkiem reakcji jonów chlorkowych ze związkami zawartymi w spoiwach mineralnych. Korozja ta przebiega często dłuższy czas bez widocznych efektów.

Spośród wszystkich jonów, jony chlorkowe szybko wnikają w głąb matrycy cementowej, z tego względu korozja betonu poddanego działaniu roztworu chlorków na przykład z wody morskiej przebiega z dużą szybkością. Agresja chlorkowa poprzedzona karbonatyzacją prowadzi łącznie do zmiany pH betonu oraz powstawania ekspansywnych związków powodujących spękanie betonu. Równie groźnym skutkiem oddziaływania jonów chlorkowych jest korozja stali zbrojeniowej. Ocena stanu jest tu możliwa metodami elektrochemicznymi pozwalającymi ujawnić korozję zbrojenia nawet wtedy, gdy brak jest widocznych oznak zewnętrznych. Czynnikiem wpływającym na wnikanie chlorków są: cykliczne nasycanie i wysychanie oraz działanie mrozu, co prowadzi między innymi do złuszczenia otuliny betonowej.

Doświadczenia potwierdzają, że szczególnie narażone na zjawiska destrukcyjne spowodowane działaniem chlorków z wody i spreju solnego są pirsy, falochrony, dalby, nabrzeża, mola i wszelkie inne budowle znajdujące się w bezpośrednim kontakcie z akwenami morskimi.

Podstawowy mechanizm wymienionej wcześniej destrukcji chlorkowej polega na migracji roztworu wodnego zawierającego jony chlorkowe w głąb konstrukcji, co prowadzi do stopniowego „dziurawienia” warstwy pasywnej stali zbrojeniowej. W efekcie, po zniszczeniu warstwy pasywnej, na powierzchni stali powstają obszary o różnych potencjałach pomiędzy metalem i elektrolitem tworzącym ciecz porową w betonie. Tworzą się lokalne ogniwa korozyjne składające się z punktowych katod i anod. Efekty procesów fizyko-chemicznych prowadzą do systematycznej degradacji konstrukcji i utraty jej projektowych właściwości technicznych [4].

Znaczące zagrożenia dla hydrotechnicznych budowli morskich stanowią: zmienny słup cieczy, falowanie i sztormy, oblodzenia powierzchni, mgła solna, uszkodzenia mechaniczne od płynących jednostek, zanieczyszczenia biologiczne (oleje, smary, odpadki organiczne itp.).

Efekty korozyjne o zbliżonym charakterze obserwuje się również w śródlądowych budowlach hydrotechnicznych, a także komunikacyjnych. Są to rezultaty działania różnych innych jonów, „akcji zimowych” i zanieczyszczeń przemysłowych.

Dotyczy to między innymi budowli ulokowanych w tak zwanych wodach płynących, gdzie obserwowane są zjawiska zmiennego słupa cieczy, kawitacji, udarów mechanicznych od przedmiotów płynących, lodu, śryżu i zanieczyszczeń chemicznych (detergenty, środki biologicznie czynne itp.) (rys. 2).

W budowlach komunikacyjnych obserwuje się skumulowane efekty korozyjne na powierzchniach podpór i przyczółków w strefach rozprysku cieczy oraz belek pod poręczowych.

We wszystkich budowlach, o których mowa wyżej, występują miejsca określane jako krytyczne, które nie mają wprawdzie najczęściej charakteru konstrukcyjnego, ale intensyfikują zagrożenia korozyjne. Zaliczyć do nich można między innymi:

nieciągłość ochrony powierzchni (odspojenia powłok), wtórna korozja efekt „halo”, wadliwa geometria powierzchni, rysy i pęknięcia, połączenia elementów stalowych z betonem, obrzeża stalowe i ocynkowane, konstrukcje kotwiące, przejścia instalacyjne itp. Wybrane przykłady takich efektów korozyjnych przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys. 2. Zniszczenia korozyjne jazu ujęcia wody



Rys. 3. Wejście do kanału portowego – zastoiny solne



Rys. 4. Trakt pieszy przy kanale – korozja na styku stal – beton

KRYTERIA DOBORU MATERIAŁÓW DO OCHRONY I NAPRAW KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH

Obserwowana rosnąca skala zniszczeń korozyjnych wymienionych wcześniej rodzajów budowli hydrotechnicznych, inżynierskich komunikacyjnych i komunalnych spowodowała w drugiej połowie ubiegłego wieku poważne zainteresowanie problemem. W efekcie problem przeciwdziałania negatywnym skutkom oddziaływań korozyjnych na konstrukcje żelbetowe, poczynając od projektowania, a na eksploatacji budowli kończąc, doczekał się istotnych regulacji w zakresie strategii napraw i ich ochrony antykorozyjnej. W latach 2004-2013 opracowano 10-częściową normę europejską EN-1504 pod tytułem „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności.” [5], która kompleksowo uporządkowała metody ochrony i napraw konstrukcji betonowych. W normie sformułowano zasady i metody postępowania, ustanowiono w niej podstawowe wymagania w odniesieniu do odpowiednich systemów i wyrobów naprawczych oraz elementy strategii zarządzania utrzymaniem konstrukcji.

Dysponowanie wiedzą o wymaganiach zawartych w przywołanej normie znacznie ułatwiło dokonywanie analizy zjawisk korozyjnych, mechanizmów ich działania i przeciwdziałania ich skutkom.

Dobór optymalnej technologii i systemu materiałów naprawczych z wykorzystaniem dokumentów: (naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne PN-EN 1504:3 [7] i ochrona powierzchniowa betonu PN-EN 1504:2 [6]) wymaga wszechstronnej analizy przed podjęciem końcowych decyzji. Analiza ta w odniesieniu do budowli hydrotechnicznych morskich ma wymiar szczególny ze względu na ich specyficzne warunki funkcjonowania oraz występujące tam mechanizmy destrukcyjne.

W analizie uwzględnić należy również wymagane terminy trwałości budowli [10]: portowe nabrzeża, mola, obrzeża, falochrony brzegowe i portowe 60 lat, maksymalnie 100 lat, pomosty i pirsy 45 lat, maksymalnie 100 lat, nadwodna część budowli morskich 30 lat, maksymalnie 60 lat, dalby stalowe i betonowe 25 lat.

Określone wyżej terminy trwałości budowli determinują wymagania, jakie muszą spełnić materiały stosowane w naprawach i ochronie ich konstrukcji.

Podjęcie się wykonania systemu ochrony budowli lub jej naprawy wymaga uwzględnienia również zapisów zawartych w normie PN-EN 206:2016-12 [9] dotyczących klas ekspozycji środowiska wraz z poziomami intensywności, w jakich eksploatowana jest lub będzie budowla:

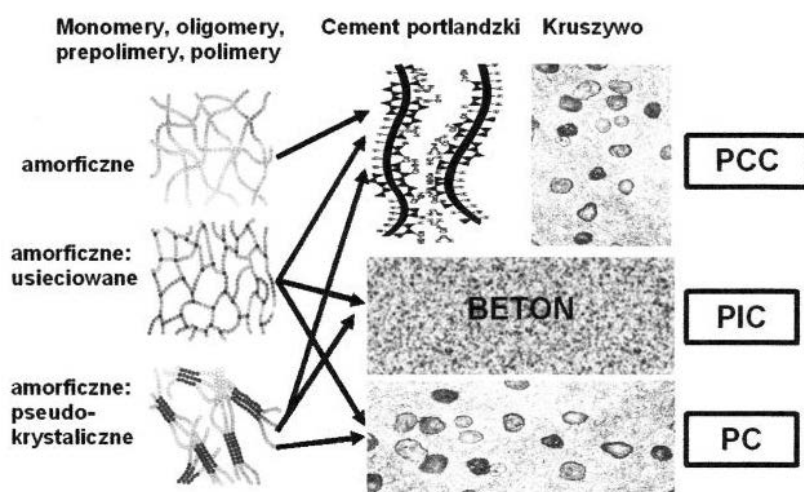
- XS-4 – cyklicznie mokre i suche, powierzchnie nad i pod powierzchnią betonu;
- XS-1 – sprej solny z wody morskiej bez kontaktu z wodą-elementy budowli owiewane sprejem solnym;
- XS-2 – stale zanurzone – elementy budowli stale pod powierzchnią morza;
- XS-3 – strefa pływów i rozbryzgów spreju solnego – elementy budowli w strefie pływów i ciągłych rozbryzgów oraz nawiewu spreju solnego;
- XF-4 – strefa silnego nasycenia wodą ze środkami odłóżającymi i wodą morską – elementy budowli ponad poziomem wody, zamrażane i rozmrażane w strefie spreju solnego i rozbryzgu wody morskiej.

Połączenie przedstawionych wcześniej faktów stanowi istotną przesłankę w wyborze i opracowaniu skutecznych systemów materiałowych do napraw i ochrony antykorozyjnej morskich budowli hydrotechnicznych.

Opracowania teoretyczne i praktyka, analiza wymaganych własności i uzyskiwane efekty wskazują na celowość zastosowania materiałów określanych jako betony polimerowe, a ściślej grupy produktów sygnowanych jako materiały PCC i PC. Schemat kompozytów betonów polimerowych przedstawiono na rys. 5 [9].

Materiały (PCC – Polymer cement concrete i PC – Polymer concrete) są powszechnie stosowane w naprawach konstrukcji żelbetowych i ich ochronie powierzchniowej.

Doskonała przyczepność do podłoża, szczelność, mrozoodporność i odporność na szerokie spektrum zagrożeń środowiskowych stanowią ich niepodważalne walory. W celu zachowania kompatybilności materiału naprawianego (chronionego)



Rys. 5. Schemat kompozytów betonowych

i naprawczego rzeczą szczególnej wagi jest właściwy dobór materiałów PCC, jakie zamierzamy zastosować. W każdym przypadku dobór musi zapewniać taką sytuację, aby ewentualne uszkodzenia występowały w naprawianym podłożu betonowym.

W niniejszym artykule skupiono uwagę na dwóch zastosowaniach materiałów polimerowo-cementowych, a mianowicie zaprawach naprawczych typu PCC i powłokach ochronnych powstałych na ich bazie.

W zaprawach naprawczych typu (pre-mix), jak i powłokach ochronnych, zastosowany jest polimerowy (kopolimerowy) proszek redyspersyjny uzyskany poprzez odparowanie z dyspersji. Proszek ten po wymieszaniu z wodą ponownie tworzy dyspersję z zawartością polimeru o wielkości cząstek od 1-10µm.

Stosowany jest szereg polimerów, najczęściej kopolimerów, w tym między innymi kopolimer styrenowo-akrylowy (dla materiału powłokowego) i poliakrylan butylu dla zapraw naprawczych.

W przypadku materiału PCC o spolimeryzowanym modyfikatorze jego działanie modyfikujące ma głównie charakter fizykochemiczny [2].

Najczęściej materiał powłokowy uzyskuje się jako roztwór wodny (emulsję) wspomnianego wcześniej kopolimeru z aktywnym wypełniaczem w postaci cementu portlandzkiego i mikrowłókien syntetycznych, a materiał naprawczy stanowi kompozyt złożony z kopolimeru, cementu portlandzkiego lub siarczanoodpornego, mikrokrzemionki koloidalnej, starannie wyselekcjonowanych kruszyw o różnych granulacjach i mikrowłókien syntetycznych.

Mikrostruktura polimerowo-cementowa dwóch wzajemnie przenikających się sieci polimerowej i cementowej skutkuje szeregiem specyficznych walorów użytkowych [8].

Uzyskane w ten sposób powłoki zabezpieczają powierzchnie betonu przed agresywnymi czynnikami środowiskowymi, umożliwiając jednocześnie odparowanie wody z betonu (oddychanie), a materiały naprawcze (zaprawy naprawcze typu PCC) skutecznie łączą podłoże naprawiane z materiałem naprawczym.

Omawiane materiały są skuteczne w niskich i zmiennych temperaturach, wodoszczelne, o wysokim oporze dyfuzyjnym dla dwutlenku węgla, odporne na chlorki, odporne na zmienny kontakt z wodą, odporne na ścieranie oraz uderzenia mechaniczne [8].

Argumenty powyższe stanowiły główne przesłanki zastosowania ich w naprawach i ochronie powierzchni budowli hydrotechnicznych morskich dla spełnienia niżej określonych funkcji zgodnie z zapisami PN-EN 1504-9:2010 [8] do:

- odbudowania elementu betonowego (Zasada 3) poprzez ręczne nakładanie zaprawy naprawczej (Metoda 3.1), nadłożenia warstwy betonu lub zaprawy (Metoda 3.2), natryskiwania betonu lub zaprawy (Metoda 3.3),
- wzmocnienia konstrukcji (Zasada 4) poprzez nadkład zaprawy lub betonu (Metoda 4.4),
- zwiększania odporności na czynniki fizyczne (Zasada 5) poprzez nadkład zaprawy lub betonu (Metoda 5.3), odporności na czynniki chemiczne (Zasada 6) poprzez nadkład zaprawy lub betonu (Metoda 6.3).

Opis zasad i metod elektrochemicznej realkalizacji betonu, realkalizacji przez dyfuzję, zmiany oporności elektrycznej otuliny, elektrochemicznego usuwania chlorków i metody ochrony katodowej wymaga odrębnego opracowania.

Zastosowanie materiałów polimerowo-cementowych według przedstawionych zasad i metod wymaga dotrzymywania zarówno w operacjach naprawczych, jak i ochronnych, ścisłych reguł postępowania, w tym również zachowania dobrej współpracy podłoża z zastosowanym kompozytem. Jednym z głównych warunków gwarantującym efekt aplikacji materiałów jest prawidłowe przygotowanie podłoża.

SYSTEM NAPRAWY BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH MORSKICH Z ZASTOSOWANIEM MATERIAŁÓW POLIMEROWO- CEMENTOWYCH – WYBRANE REALIZACJE

Opisane niżej realizacje dotyczyły trzech obiektów: powierzchni testowej pirsu środkowego-wejściowego w Naftoporcie Gdańsk, falochronów wschodniego i zachodniego portu morskiego Dziwnowo, falochronu wewnętrznego portu morskiego Władysławowo. Stan powierzchni obiektów, o których mowa, przed podjęciem prac, przedstawiono na rys. 6, 7, 8. (Od lewej: element falochronu Władysławowo; element falochronu Dziwnów; fragment pirsu Naftoport).

Wykonawca po uwzględnieniu okoliczności, o których mowa wcześniej, przystępując do prac naprawczych, miał świadomość konieczności zastosowania w preliminowanych pracach „metod i zasad”, oraz regulacji prawnych wynikających między innymi z bezpośredniego kontaktu z akwenem morskim.

Prace były poprzedzone oceną stopnia karbonatyzacji powierzchni i stopnia jej zasolenia, identyfikacją odspojen stosowanych wcześniej wykładzin syntetycznych, ognisk korozji, rys i pęknięć oraz w przypadku pirsu udokumentowaniem stanu dna w celu uzyskania zgody na wykonywanie prac naprawczych z zastosowaniem materiałów polimerowo-cementowych w basenie portowym. Zapisy w/w czynności znajdują się w dyspozycji autorów i zostaną wykorzystane odrębnie.

We wszystkich trzech wymienionych realizacjach zastosowano zbliżone sekwencje robót. Uzasadnione różnice w fazie przygotowania podłoża w celu uzyskania kompatybilności z materiałami naprawczymi były uzasadnione oceną ich rewizji. Generalnie, w celu usunięcia wszelkich części zdegradowanych, zastosowano metodę strumieniowo-ścierną – hydromonitoring o ciśnieniu 200 Bar (uzyskano efekt czystości stali Sa 2,5), a dodatkowo w celu uzyskania gwarancji oczyszczenia stali zbrojeniowej eliminującej ewentualne ogniska wtórnej korozji – czyszczenie ręczne.

Ze względu na zagrożenie sprejem solnym, a więc możliwość powstania ognisk korozji na oczyszczonej powierzchni stali zbrojeniowej, natychmiast po oczyszczeniu została ona pokryta materiałem polimerowo-cementowym zawierającym inhibitor korozji. Zastosowano materiał o nazwie handlowej Prem Kor spełniający dodatkowo funkcję mostka szepnego dla materiałów naprawczych.

Wszystkie zidentyfikowane ubytki w powierzchni podłoża wypełniono zaprawami typu PCC o różnej granulacji wypeł-



Rys. 6. Element falochronu – odspojenia powłoki ochronnej



Rys. 9. Element falochronu po naprawach materiałami PCC



Rys. 7. Element falochronu – zniszczenia korozyjne



Rys. 10. Falochron po naprawie systemowej z powłoką polimerowo-cementową.



Rys. 8. Ściana pirsu z efektami korozyjnymi



Rys. 11. Element pirsu po kompleksowej naprawie materiałami polimerowo-cementowymi

niacza kwarcowego. Materiałami o nazwie handlowej MIX-1 wypełniono ubytki o głębokości powyżej 6,0 mm, a głębokości poniżej materiałem MIX-2. Ten ostatni spełnił funkcję „szpachłówki” standaryzującej geometrię naprawianej powierzchni w celu ograniczenia do minimum możliwości osadzenia soli i tworzenia wykwitów.

Po przeprowadzeniu prac, o których mowa, z zachowaniem technologicznego odstępu czasu wykonano powłokę z materiału polimerowo-cementowego o antykorozyjnej funkcji ochronnej o nazwie handlowej Prem Cem El. Producent w/a materiałów Firma Premix Sp. z o. o.

Materiał stanowi kompozyt złożony z redyspersyjnego kopolimeru, cementu portlandzkiego, wypełniacza kwarcowego o niskim uziarnieniu i dodatku mikrowłókien syntetycznych. Po dodaniu wody zarobowej w ściśle określonej proporcji uzyskano zawieszinę wodną gotową do aplikacji. Optymalne jest dwukrotne wykonanie powłoki i uzyskanie grubości 0,4 mm, możliwa jest jej multiplikacja do grubości 3,0 mm.

W trakcie wykonywania prac, przeprowadzono wszelkie niezbędne badania warunków środowiskowych (temperatura, wilgotność, punkt rosy) przyczepności na odrywanie oraz stanu dna w strefie napraw powierzchni pirsu. Przerwy między poszczególnymi fazami wykonania prac były z oczywistych przyczyn minimalizowane.

Wyżej opisane czynności technologiczne wypełniły wymogi napraw i ochrony powierzchni konstrukcji żelbetowych pracujących w warunkach określonych w normach PN-EN 1504 [5, 6, 7, 8] i PN-EN 206 [9]. Na rys. 9, 10, 11 pokazano powierzchnię obiektów po zakończeniu prac. (Od lewej: Element falochronu Władysławowo; element falochronu Dziwnów; fragment pirsu Naftoport).

WNIOSKI

Doświadczenia eksploatacyjne obiektów, na których zastosowano system ochrony antykorozyjnej z użyciem materiałów polimerowo-cementowych w pełni potwierdzają celowość ich stosowania w budowlach narażonych na ekstremalne oddziaływanie środowiskowe. Specyficzne właściwości tych materiałów powodują, że budowle hydrotechniczne, na których je zastosowano, narażone na oblodzenie, zmienny słup cieczy (suche – mokre), efekty falowania, mgłę solną (sprej), udary mechaniczne, chronione są systemowo. Opisany system ochronny jest coraz powszechniej stosowany w budowlach hydrotechnicznych, a także w budowlach inżynierskich komunikacyjnych między innymi w tak zwanych strefach rozprysku cieczy odladzających

lub elementach budowli o skumulowanych działaniach destrukcyjnych. W pełni uzasadniony jest wniosek o obligatoryjnym stosowaniu materiałów polimerowo-cementowych w pracach remontowo-naprawczych obiektów eksploatowanych i w ochronie nowo budowanych hydrotechnicznych obiektów morskich. W świetle zamierzonych modernizacji obiektów hydrotechnicznych portu gdańskiego i gdyńskiego oraz budowy nowych, rekomendacje zawarte w artykule są w pełni uzasadnione.

LITERATURA

1. Czarnecki L.: Betony polimerowe. Cement. Wapno. Beton, 2/2010.
2. Czarnecki L., Łukowski P.: Betony polimero-cementowe. Cement. Wapno. Beton, 5/2010.
3. Czarnecki L., Łukowski P., Garbacz A.: Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504.
4. Królikowski A.: Wykład Kurs IBDIM BETON I/2017
5. PN-EN 1504:2006: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności.
6. PN-EN 1504-2:2006: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu.
7. PN-EN 1504-3:2006: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne.
8. PN-EN 1504-9:2010: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów.
9. PN-EN 206+A1:2016-12: Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność (wersja angielska).
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej z dnia 23.10.2006 roku w sprawie warunków technicznych użytkowania oraz szczegółowego zakresu kontroli morskich budowli hydrotechnicznych, Dz.U. 2006, nr 206, poz. 1516.