

Teresa ABRAMOWICZ-GERIGK, Zbigniew BURCIU
Akademia Morska w Gdyni, Gdynia

OCENA STANU SYSTEMU UMOCNIEŃ DNA W REJONIE NABRZEŻY PORTOWYCH

Słowa kluczowe

Manewry portowe, umocnienie dna, ocena stanu systemu.

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję oceny stanu umocnień dna w basenach portowych, w rejonie cumowania statków wykorzystujących własne urządzenia napędowe i sterujące, w szczególności promów i statków ro-ro. Omówiono czynniki wpływające na stan systemu. Do opisu procesu degradacji systemu umocnień dna zaproponowano proces gamma $(\tilde{X}_t)_{t \geq 0}$, który może być określony na podstawie fizycznych charakterystyk degradacji systemu. Podano przykład badań symulacyjnych i obliczeń numerycznych umożliwiających przewidywanie oddziaływania strumieni zaśrubowych statku na dno i nabrzeże podczas manewrów.

Wprowadzenie

Systemy umocnień stosowane przy nabrzeżach portowych, w rejonie cumowania statków manewrujących za pomocą własnych urządzeń napędowych, w szczególności promów i statków ro-ro, projektowane są w oparciu o analizę nawigacyjną, która dla statku charakterystycznego (maksymalnego), na podstawie symulacji manewrów, określa wielkość obszaru, jaki należy umocnić dla przewidywanych prędkości strumieni zaśrubowych przy dnie. Zakłada się takty-

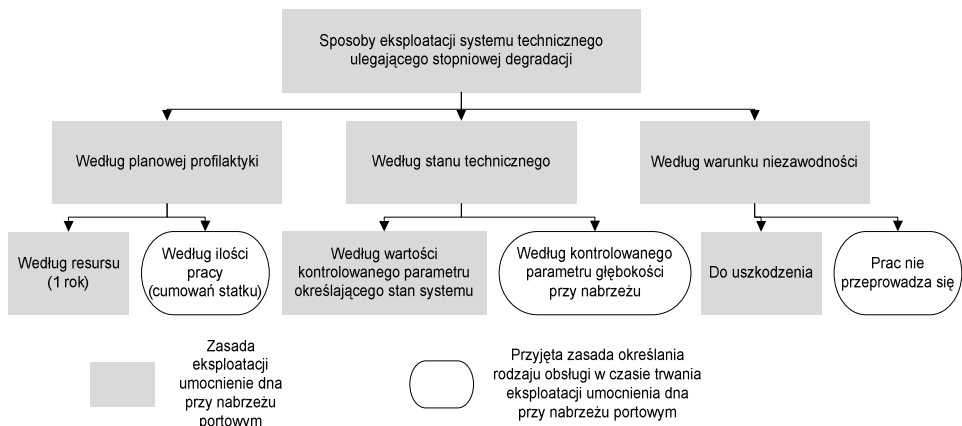
kę manewrowania podczas podchodzenia i odchodzenia statku od nabrzeża, przyjmując, że statki cumują zawsze w tym samym położeniu.

Systemy umocnień dna podlegają stopniowej degradacji, zależnej od zastosowanej technologii umocnienia dna (narzut kamienny, płyty betonowe, gabiony, materace geotekstylne wypełnione kamieniami, betonem lub piaskiem). Ich eksploatacja wymaga przestrzegania ograniczeń projektowych oraz przepisów prawnych [6, 9], w tym również przepisów dotyczących częstotliwości inspekcji stanu technicznego. Stan techniczny pomiędzy inspekcjami nie jest znany. Może on być przewidywany na podstawie modelu degradacji konstrukcji. W artykule przedstawiono propozycję modelu stochastycznego, opisującego degradację systemu, opartego na rozkładzie gamma, czynniki wpływające na stan systemu oraz metody przewidywania fizycznych charakterystyk degradacji uszkodzeń.

1. Ocena trwałości systemu umocnień dna

Dla systemów ulegających stopniowej degradacji przyjmuje się strategię konserwacji i zapobiegania awariom opartą na pomiarach wybranego parametru diagnostycznego systemu, określającego jego stan. Podejście takie jest bardziej efektywne od założenia, że podstawą podejmowania decyzji dotyczącej konserwacji systemu jest czas porównywany z danymi statystycznymi określającymi trwałość systemu.

Eksploatacja systemu według stanu technicznego [13] (rys. 1) oznacza przyjęcie zasady, że system jest eksploatowany tak długo, dopóki wartości parametrów określających jego stan techniczny mieszczą się w przedziale dopuszczalnym.



Rys. 1. Zasady eksploatacji i określania rodzaju obsługi systemu umocnień dna akwenu w rejonie nabrzeża portowego (opracowano na podstawie [Tomaszek])

Przy takiej strategii eksploatacji uwzględnia się bieżącą informację o funkcjonowaniu systemu, otrzymaną na podstawie ciągłej lub dyskretnej kontroli i analizy stanu technicznego.

Inspekcje umocnień dna w rejonie nabrzeży, zgodnie z obowiązującym prawem [6], powinny się odbywać raz do roku. Polegają one na przeprowadzeniu dokładnego pomiaru głębokości, poprzez pomiary sondażowe. Badanym parametrem jest odchylenie od wartości zadanej, wynikające z przemieszczenia lub uszkodzenia umocnień (przegłębienia i spłylenia) oraz nagromadzenia osadów i piasku w wyniku procesów naturalnych i oddziaływania strumieni zastrubowych (spłylenia). Konserwacja systemu wymaga zaangażowania nurków i odpowiednich urządzeń technicznych.

W przypadku systemu ulegającego ciągłej, stopniowej degradacji, przy ustalonych warunkach eksploatacji, którego uszkodzenie może być zidentyfikowane tylko na podstawie inspekcji, czas pomiędzy inspekcjami powinien zależeć od stanu określonego podczas wcześniejszej inspekcji.

W portach przyjmuje się zapas nawigacyjny, określany jako minimalny zapas wody pod stępką jednostki pływającej, umożliwiający jej pływalność, zależny od rodzaju gruntu dna akwenu, sposobu umocnienia dna przy budowl morskiej, wielkości jednostki pływającej oraz od ustalonego przebiegu manewrów zacumowywania i odcumowywania do budowli morskiej, nie mniejszy niż 0,3 m dla gruntów słabych (torfy, namuły) i piasków w stanie luźnym, 0,45 m dla piasków o dużym stopniu zagęszczenia, 0,6 dla skał i kamieni. Ze względu na uzyskanie efektu miękkiego dna w obszarze umocnionym w Porcie Gdynia stosuje się materace geotekstylne wypełnione piaskiem. Dzięki temu może być przyjęta mniejsza rezerwa nawigacyjna. Sondowanie dna przeprowadza się w tym przypadku dwukrotnie częściej niż wymagają tego przepisy,

Opracowanie modelu umożliwiającego planowanie inspekcji oraz ustalenie stanów granicznych systemu, ze względu na konieczność prowadzenia napraw, wpływa na efektywność ekonomiczną oraz poprawę bezpieczeństwa eksploatacji systemu statek-port. Model taki powinien opisywać przejście ze stanu zdatności do stanu granicznego, w oparciu o model stochastyczny procesu postępującej degradacji systemu. Na jego podstawie (przetworzone dane z inspekcji dna) podejmuje się decyzję o dopuszczeniu systemu do dalszej eksploatacji w wyznaczonym okresie lub wykonaniu odpowiednich prac, takich jak szczegółowa kontrola stanu systemu, wykonana przez nurka, prace profilaktyczne, wymiana uszkodzonych elementów umocnienia, prace podczyszczeniowe. Jeśli system osiągnie stan graniczny, jego eksploatacja nie może być kontynuowana aż do ponownej inspekcji, wykonanej po przeprowadzeniu napraw.

Stan graniczny ustala się jako stan wymagający profilaktycznej konserwacji. Czas do osiągnięcia tego stanu jest zmienną losową. Mechanizm uszkodzenia może być opisany poprzez model erozji umocnień (uszkodzenie struktury,

przemieszczenie elementów umocnień dna) i powstawania osadów – namulów i piasku, powodujących lokalne spłylenia.

Aby uniknąć konieczności zakładania dyskretnego czasu i dyskretnych stanów systemu, stosowany jest model oparty na procesie Gamma [15]. Własności tego procesu, w szczególności to, że jest to proces monotonicznie rosnący, odpowiadają nieodwracalnym procesom degradacji np. konstrukcji betonowych, grobli, rowów, kanałów, budowli hydrotechnicznych w trakcie jednego cyklu serwisowego.

Daty inspekcji systemu (plan inspekcji) oraz stan graniczny systemu są podstawowymi zmiennymi decyzyjnymi, jakie można przyjąć w modelu, określającym datę kolejnej inspekcji, którą wyznacza się na podstawie oceny stanu systemu dokonanej podczas inspekcji bieżącej.

Proces degradacji systemu $(\tilde{X}_t)_{t \geq 0}$ jest procesem gamma, który może być określony na podstawie charakterystyk degradacji systemu. Dla wszystkich $0 \leq s < t$, $\tilde{X}_t - \tilde{X}_s$ ma rozkład gamma z parametrami $\alpha(t-s)$, β :

$$f_{\alpha \cdot (t-s), \beta}(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha \cdot (t-s))} \cdot \frac{1}{\beta^{\alpha \cdot (t-s)}} \cdot x^{\alpha \cdot (t-s) - 1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) I_{\{x \geq 0\}} \quad (1)$$

Średni wskaźnik szybkości degradacji systemu jest równy $\alpha \cdot \beta$, wariancja wynosi $\alpha \cdot \beta^2$.

2. Czynniki wpływające na stan systemu umocnień dna

Wyróżnia się następujące czynniki wpływające na stan systemu umocnień dna:

- typ umocnień – odporność na oddziaływanie strumieni wody o dużej prędkości, odporność na powstawanie przegłębień,
- kształt ściany nabrzeża,
- profil dna w rejonie umocnień,
- szerokość pasa umocnień,
- zabezpieczenie pasa zewnętrznego (od strony kanału portowego) przed podmywaniem,
- charakter dna ze względu na możliwość zapadania się umocnień w wyniku infiltracji, upłynniania gruntu lub podmywania,
- technologia prac podczyszczeniowych,
- częstość prac podczyszczeniowych i konserwacyjnych,
- częstość operowania statków w rejonie umocnień,
- obowiązujące procedury, ograniczenia wykorzystywanej mocy urządzeń w rejonie umocnień,

- dopuszczalne prędkości strumieni zaśrubowych,
- dopuszczalne warunki pogodowe,
- rzeczywiste warunki pogodowe i stan wody w akwenu.

Przy przewidywaniu stanu systemu umocnień dna nie uwzględnia się awarii wynikających z zetknięcia dna statku z dnem akwenu – przechył, przewrócenie, przełamanie, zatonięcie lub naniesienia dużej ilości osadów przy pogłębianiu obszarów przyległych, ponieważ są to zdarzenia rzadkie. W każdym z wyżej wymienionych przypadków konieczna jest inspekcja i naprawa umocnień.

Elementy umocnienia układa się na warstwie geowłókniny i łączy ze sobą, jednak w wyniku infiltracji i upłynniania gruntu może występować zapadanie się i przemieszczanie płyt umocnień, narzutu kamiennego lub materacy geotekstylnych. Występowanie podwodnych źródeł jest również przyczyną podmywania umocnień i upłynniania gruntu. Szczególnie trudne jest przewidywanie stanu umocnień wykonywanych według nowych technologii, ze względu na brak doświadczenia w ich długotrwałej eksploatacji. Przykładem może być rozwiązanie, umożliwiające zapewnienie efektu miękkiego dna zastosowane w Porcie Gdyńskim.

Prace umocnieniowe polegają w tym przypadku na ułożeniu na dnie akwenu, na pojedynczej warstwie geowłókniny technicznej, przytwierdzonej do podłoża szpilkami z okrągłego, stalowego pręta, warstwy materacy (worków) uszytych z tkaniny geotekstylnej, wypełnionych czystym piaskiem i powiązanych między sobą za pomocą linek. Umocnienie dna wykonywane jest wzdłuż nabrzeża w pasie o szerokości około 30 m. Odpowiednie przygotowanie dna akwenu pod umocnienie polega na usunięciu spłyceń dna i wykonaniu zasypów uzupełniających w miejscach przegłębienia, do poziomu spodu projektowanego umocnienia dna z tolerancją $\pm 0,1$ m.

Dwutonowe materace mogą być częściowo unoszone przez podciśnienie wywołane prądem wody ze strumieni zaśrubowych, zrywane są linki łączące materace, tkanina geotekstylna ulega rozdarciom.

W przypadku innych technologii wykorzystujących beton, skały i kamienie, elementy umocnień mogą podlegać drganiom wywołanym przez strumienie zaśrubowe, co powoduje ich przemieszczanie, zrywanie połączeń w wyniku obciążeń zmęczeniowych. O trwałości decyduje w tym przypadku przede wszystkim budowa geologiczna dna.

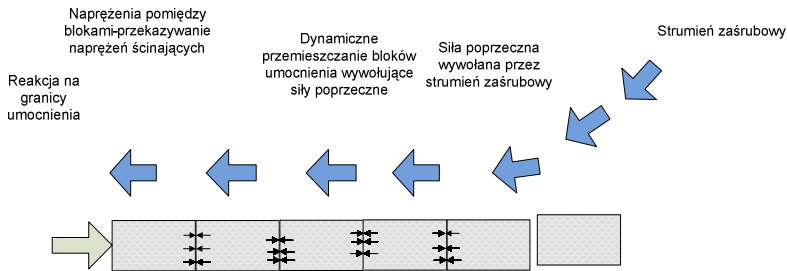
Dno z prefabrykowanych płyt żelbetowych układane jest na wcześniej wyprofilowanym i wyłożonym geowłókniną i geosiatką dnie. Płyty są spinane między sobą tak, że tworzą materac zabezpieczony od strony kanału przed podmywaniem najczęściej za pomocą gabionów.

Pośród wymienionych wyżej czynników decydujące znaczenie mają prędkości strumieni zaśrubowych wytwarzanych przez pracujące pędniki i stery strumieniowe statków. Prędkości te mogą dochodzić do 15 m/s [6], dotyczy to

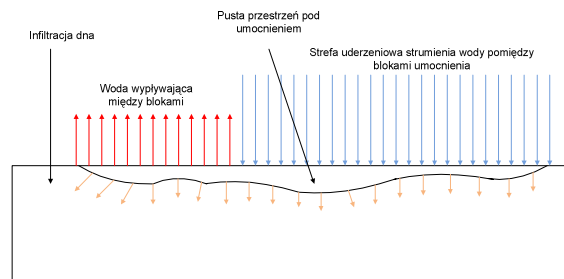
głównie terminali promowych jednostek HSC i HSS [8]. W innych przypadkach prędkości zakładane przy projektowaniu nabrzeży nie przekraczają 10 m/s.

Rozwiązanie zagadnienia oddziaływania strumienia na dno i ścianę było przedmiotem wielu badań. Wykorzystywane są wyniki badań modelowych, metody numerycznej mechaniki płynów i badania w warunkach rzeczywistych, bazujące na systematycznych pomiarach odkształceń umocnienia dna [1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 14]. W [11] zaproponowano funkcję niezawodności dla umocnień z narzutu kamiennego [11], opracowaną w oparciu o metody probabilistyczne i drzewa FTA, zweryfikowaną w warunkach rzeczywistych w Porcie Rotterdam.

W pracy [7] badano zjawiska oddziaływania strumieni zaśrubowych na umocnienia z bloków betonowych (rys. 2 i 3).



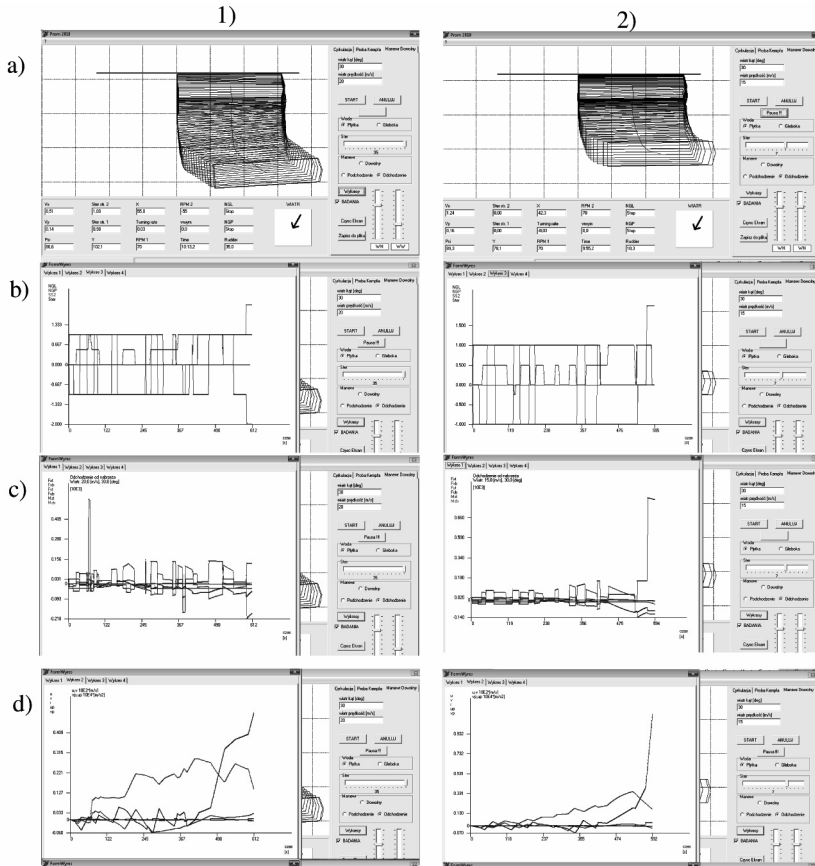
Rys. 2. Mechanizm przenoszenia obciążeń pomiędzy blokami umocnienia dna



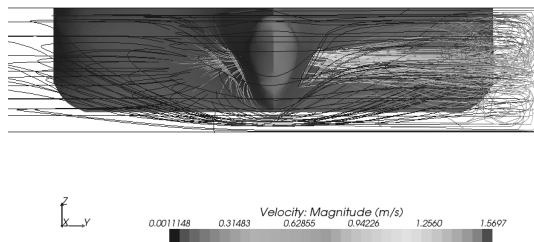
Rys. 3. Mechanizm przyrostu ciśnienia pod umocnieniem dna wykonanym z bloków betonowych

Wnioski z tych badań mogą być wykorzystane jako zalecenia projektowe dla umocnień z bloków betonowych.

Modele symulacyjne i metody numerycznej mechaniki płynów stanowią dobre narzędzie do przewidywania maksymalnych obciążeń umocnień dna. Na rys. 4 i 5 przedstawiono przykład obliczeń wykonanych dla manewru odchodzenia statku od nabrzeża.



Rys. 4. Symulacja manewru odchodzenia statku od nabrzeża



Rys. 5. Obliczenia prędkości przepływu w rejonie cumowania statku dla zadanych nastaw urządzeń napędowych i sterujących

Okresowe inspekcje pozwalają na opracowanie planu batymetrycznego oraz sprawozdania z badania dna. Uzupełnieniem jest numeryczny model dna,

na podstawie którego można przeprowadzić analizę dna morskiego i znajdujących się na nim obiektów w przestrzeni dwu- i trójwymiarowej. Najczęściej stosowany jest model rastrowy. Dzięki temu można dokładnie określić, jak rozmieszczone są elementy umocnień. Model warstwiczny ułatwia wykrycie splotów i przeszkód na dnie.

Wnioski

Zagadnienie oceny trwałości obiektów technicznych w warunkach realnego systemu eksploatacji wymaga zbudowania modelu dynamicznego procesu eksploatacji, który pozwala na śledzenie rzeczywistych procesów zachodzących w warunkach eksploatacji. Wykorzystanie do opisu procesu degradacji systemu umocnień dna procesu gamma, który może być określony na podstawie fizycznych charakterystyk degradacji systemu modelu umożliwi ocenę stanu systemu w okresach pomiędzy inspekcjami oraz przewidywanie czasu do osiągnięcia przez system stanu granicznego, wymagającego wykonania konserwacji zapobiegającej jego uszkodzeniu.

Bibliografia

1. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z.: Prediction of ship performance in the risk based DSS BEDS in Safeport European project. Journal of Konbin No 1(13)2010. Warszawa 2010.
2. Abramowicz-Gerigk T.: Jet flow generated by propeller of twin propeller twin rudder ferry. Scientific Journals Maritime University of Szczecin, No. 20/92. Szczecin 2010.
3. Brząkiewicz I.: Tłumienie prędkości strumienia zaśrubowego w wyniku oddziaływania podłoża i konstrukcji hydrotechnicznej. Politechnika Gdańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska; Katedra Budownictwa Wodnego i Morskiego. Praca doktorska. Gdańsk 2002.
4. Brewster P.B., Hamill G.A.: CFD Model of a marine propeller wash. In Proceedings International Offshore and Polar Engineering Conference, 1997.
5. Dargahi B.: Three dimensional modelling of ship induced flow and erosion. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water and Maritime Engineering, 2003.
6. Dziennik Ustaw Nr 101 poz. 645 z dnia 6 sierpnia 1998 r. 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.
7. Evans G.: Seabed Protection Systems to prevent Scour from High-Speed Ships. PhD. Cranfield University 2010.

8. Lam W.R. et al., 2006. Simulations of a ships propeller wash. In Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. 2006.
9. Mazurkiewicz B., Wiśniewski F. Zespół roboczy zasad projektowania budowli morskich. Morskie budowle hydrotechniczne. Zalecenia do projektowania i wykonywania Z1-Z 45. Wydanie V. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej. Gdańsk 2008.
10. Nielsen B.: Bow thruster-induced damage. A physical model study on bow thruster-induced flow. Master of Science thesis for Delft University of Technology. <http://www.citg.tudelft.nl/live/binaries/4de0d195-5207-4e67-84bb-455c5403ae47/doc/2005Nielsen.pdf>. 2005.
11. Roubos A.A.: Dealing with uncertainties in the design of bottom protection near quay walls. MSc thesis in hydraulic structures. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. TU Delft, Delft, Netherlands. www.citg.tudelft.nl/.../doc/paperRoubos.pdf. 2006.
12. Technical report N0 RH-2009/T-027. 2009. CTO S.A. CFD calculations of interactions during harbour manoeuvres of vessel Kolobrzeg. The research project N N509 293635 sponsored by Polish Ministry of Science and Higher Education: "Safety of berthing of ships in the Motorway of the Sea transportation system". Gdynia 2009.
13. Tomaszek H., Wróblewski M.: Podstawy oceny efektywności eksploatacji systemów uzbrojenia lotniczego. Dom Wydawniczy Bellona. Warszawa 2001.
14. Whitehouse R.: Scour at marine structures: a manual for practical applications Thomas Telford publications, London 1998.
15. Zhou Y., Ma L., Mathew J., Sun Y., Wolff R.: Asset life prediction using multiple degradation indicators and failure events: a continuous state space model approach: Eksploatacja i Niezawodność nr 4, 2009.

Recenzent:
Wiesław GALOR

The assessment of a seabed protection system near a quay wall

Key words

Harbour manoeuvres, sea bed protection, assessment of system state.

Summary

This paper presents a concept for the assessment of the state of a seabed protection system in docks, in the area of self-berthing operations, performed by

ferries and ro-ro vessels. The factors influencing the system state are described. The Gamma process $(\tilde{X}_t)_{t \geq 0}$ has been proposed to describe the process of degradation of seabed protection systems, which can be described by physical characteristics. The example of ship motion simulation and CFD calculation were presented to demonstrate the possibility of predicting the influence of a propeller jet on seabed protection and quay wall during manoeuvres.