

BIOFOULING, CZYLI PORASTANIE STATKÓW – SYSTEMY ZWALCZANIA I WPŁYW NA ŚRODOWISKO MORSKIE

W artykule zwrócono uwagę na problem porastania elementów statku, mających bezpośredni kontakt z wodą. Jest to jeden z czynników powodujący wzrost kosztów eksploatacji statków. Zaprezentowano również wymagania dotyczące farb antyporostowych oraz substancje szkodliwe w nich zawarte. Artykuł przedstawia, jak bardzo ważne dla statków są powłoki antyporostowe, jednocześnie ukazując ich negatywny wpływ na środowisko morskie. Omawia również, od czego zależy szybkość i stopień porastania kadłuba statku przez faunę i florę morską.

Słowa kluczowe: biofouling, porastanie kadłubów, farby antyporostowe.

WSTĘP

Istotne znaczenie w eksploatacji statku ma porastanie i korozja wszystkich elementów, będących w bezpośrednim kontakcie z wodą. Elementy te są narażone na tworzenie się biofilmu przy udziale mikroorganizmów wydzielających EPS (*extracellular polymeric substances*) oraz jego późniejszą kolonizację przez faunę i florę wodną. Proces ten powoduje mikropęknięcia, których następstwem są trwałe uszkodzenia konstrukcji. Wszystko to wiąże się ze wzrostem kosztów eksploatacji i napraw. W związku z napotykanymi problemami istotne jest wyeliminowanie niepożądanego porastania kadłuba poprzez opracowanie coraz to nowszych i lepszych systemów. Obecnie na rynku najpopularniejsze jest stosowanie chemicznych środków przeciwporostowych. Do budowy konstrukcji pracujących w środowisku morskim stosuje się: stopy metali, drewno, beton oraz laminat. Każdy z tych materiałów ma inną podatność na korozję oraz biofouling. Występowanie tego zjawiska jest uzależnione m.in. od rodzaju środowiska wodnego, szybkości poruszania się jednostki, temperatury wody, rodzaju zabezpieczeń oraz materiału, z którego zbudowana jest jednostka. W celu zabezpieczenia statku oraz jako ochronę przed porastaniem stosuje się wiele środków dostępnych na rynku, a w tym systemy antyporostowe. Mają one za zadanie utrzymać powierzchnię, mającą kontakt z wodą w jak najlepszym stanie i chronić ją przed gromadzeniem się organizmów na niej narastających. W przemyśle okrętowym najczęściej stosuje się farby antyporostowe, którymi pokrywane są powierzchnie podatne na porastanie. Farby takie wydzielają w kontrolowany sposób biotoksyny przeciwdziałające porastaniu i w ten sposób tworzą ochronę dla powierzchni.

1. PODZIAŁ ORGANIZMÓW POROSTOWYCH ORAZ METODY ICH USUWANIA

Porastanie najogólniej można podzielić na dwa podstawowe rodzaje: miękkie i twarde. Zarówno jedno jak i drugie jest bardzo kłopotliwe i trudne do usunięcia. Istnieją różne metody ich usuwania, jednak w praktyce nie jest możliwe pozbycie się ich za pomocą jednego środka. Do podstawowych narzędzi oczyszczających zalicza się skrobaczki oraz szczotki pojedyncze lub szczotki obrotowe z napędem mechanicznym [6]. Inną metodą jest użycie strumienia wody pod niskim ciśnieniem. Od wielu lat trwają badania nad skonstruowaniem specjalistycznych maszyn, które obniżyłyby koszty i czas usuwania porostów. Wśród organizmów porostowych znajdują się m.in.: muszle, małże z gatunku *racicznica zmienna*, algi morskie, glony, wodorosty (patrz rys. 1, 2, 3, 4). Jednym z rodzajów wodorostów jest szlam. Ten tworzą jednokomórkowce występujące w postaci ogromnych siedlisk, które stają się dogodnym podłożem dla większych przedstawicieli porostów.



Rys. 1. Porośnięta płetwa sterowa na jachcie

Fig. 1. Biofouled rudder on a yacht



Rys. 2. Skorupiaki widoczne przy śrubie

Fig. 2. Crustaceans visible on the screw



Rys. 3. Porośnięty stalowy kil jachtu

Fig. 3. Biofouling visible on steel keel yacht



Rys. 4. Drabinka z widocznymi skorupiakami

Fig. 4. Ladder with visible crustaceans

2. SUBSTANCJE ZAGRAŻAJĄCE ŚRODOWISKU MORSKIEMU ZAWARTE W FARBACH PRZECIWPOROSTOWYCH

Jedną z najlepszych metod ochraniania powierzchni przed porostami jest używanie specjalnych farb antyporostowych. Są to farby mniej lub bardziej skuteczne, jednakże zawsze bardzo niebezpieczne dla środowiska morskiego. Z tego względu przemysł chemiczny przeznaczal olbrzymie ilości pieniędzy na badania, mające na celu wyeliminowanie zagrożeń stwarzanych przez farby przeciwporostowe. Organizacje takie jak m.in. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) stoją na straży ochrony środowiska i wydają przepisy prawne, umożliwiające zabezpieczenie środowiska morskiego przed zgubnym działaniem toksycznych substancji zawartych w farbach.

Wśród takich substancji są np. organiczne związki cyny, będące substancjami zawierającymi kilka grup organicznych. Te dzielą się na dwupodstawowe (dwie grupy organiczne) lub trójpodstawowe (trzy grupy organiczne). Trójpodstawowe związki cyny w przeszłości były stosowane powszechnie jako biocydy lub pestycydy. W zakresie stosowania tributyllocyny (TBT) używane są m.in.: substancje

syntetyczne zawarte w farbach antyporostowych stosowanych w okrętownictwie, środki przeciwgrzybiczne czy środki ochrony drewna. Tributyllocyna była głównie stosowana w farbach do malowania kadłubów statków. Dziś w większości stosowanie tych środków jest zabronione w Polsce, Unii Europejskiej i w wielu innych krajach na świecie. Drugim obok tributyllocyny niebezpiecznym związkiem stanowiącym zagrożenie dla organizmów wodnych jest trifenylocyna (TPhT), która również była stosowana głównie do produkcji pestycydów. W farbach antyporostowych może być stosowana jako dodatek. Są to jedne z najbardziej niebezpiecznych związków zagrażających faunie i florze morskiej, dlatego w krajach Unii Europejskiej ogranicza się stosowanie tych substancji lub całkowicie zabrania.

Związki cynoorganiczne, jakimi są tributyllocyna oraz trifenylocyna, mają dużą tendencję do gromadzenia się i pozostawania przez długi czas w osadach dennych, co wpływa bardzo negatywnie na organizmy tam zamieszkujące, silnie narażając je na toksyczne działanie tych związków. Ze względu na działanie androgenne TBT w silnym stopniu wpływa na zaburzenia funkcji rozrodczych głównie mięczaków. Tributyllocyna była bardzo długo stosowana jako środek biobójczy w farbach przeciwporostowych, dlatego zwłaszcza w stocznich czy portach osady denne zawierają najwięcej tego środka. Tam spadek TBT następuje bardzo wolno ze względu na wysokie stężenie w osadach dennych. Naruszenie osadów może uwolnić duże ilości tych związków do wody podczas pogłębiania lub wybierania osadów dennych, dlatego takie przedsięwzięcia objęte są bardzo wysokimi rygorami ochrony środowiska. Rygory te mają na celu ograniczenie resuspensji w trakcie jakichkolwiek prac wykonywanych w akwenie wodnym. Do pogłębiania dna basenu portowego stosuje się hydrauliczne lub mechaniczne pogłębiarki, wyposażone w systemy zbierające, które są dobrze uszczelnione. Zapobiega to przemieszczaniu się osadów z prądem.

3. ELIMINACJA SUBSTANCJI SZKODLIWYCH – NOWE TECHNOLOGIE

Naukowcy stoją przed wyzwaniem zapewnienia możliwie jak najlepszych systemów przeciwporostowych, ale równocześnie niezagrażających środowisku, dlatego dąży się do całkowitego wyeliminowania związków zagrażających środowisku naturalnemu. Inżynierowie natomiast konstruują coraz to sprawniejsze maszyny zajmujące się oczyszczaniem akwenów, które człowiek przez lata zdążył już zanieczyścić. Dzisiejsze farby mają bardzo ograniczoną zawartość tlenu miedzi czy związków cynoorganicznych, a producenci chwalą nie mniejszą ich skuteczność od tradycyjnych farb antyporostowych. Niektóre nowe farby opierają się np. na spoiwie cynkowo-akrylanowym, które wyeliminowało miedź. Inna substancja, zastępująca tlenek miedzi, to silikon – jako pierwsza zwróciła na to uwagę firma Pettit [3]. Chińscy naukowcy przeprowadzili badania, w których do formuły farb dodali proszki fosforowe. Wyniki badań były dość zaskakujące, bo okazało się, że dodatek odstrasza niektóre rodzaje okrzemek. W czasie badań stwierdzono, że na materiałach pokrytych warstwami fosforowymi okrzemek było

zdecydowanie mniej. W siódmym dniu zajmowały one 30% powierzchni, gdy na materiałach bez fosforu – 60%. Dodatek fosforowy nie wpłynął jednak na przyczepność do podłoża. W badaniach stwierdzono podobne właściwości między testowanymi próbkami, jeśli chodzi o ścinanie przez wodę skorupiaków przy pewnej prędkości.

4. WYMAGANIA DOTYCZĄCE FARB ANTYFOULINGOWYCH W PRZEPISACH PRAWNYCH

Według Dziennika Ustaw nr 134, poz. 851 [5] *Międzynarodowa Konwencja w sprawie kontroli szkodliwych systemów przeciwporostowych na statkach*, podpisana w Londynie dnia 5 października 2001 r., Załącznik 1, *Kontrola Systemów Przeciwpoworostowych – Substancje związków organiczno-cynowych, które oddziałują jak biocydy w zastosowanych systemach przeciwporostowych* – wszystkie statki nie będą używać w ogóle takich związków ani stosować ich powtórnie (data wejścia w życie 1 stycznia 2003 r.).

„Statki: albo nie będą posiadały takich związków w pokryciach swoich kadłubów lub zewnętrznych częściach konstrukcji i powierzchniach, albo będą posiadały pokrywającą warstwę, która stanowić będzie barierę dla wypłukiwania leżącego pod nią pokrycia systemu przeciwporostowego, którego pozostawienie na kadłubie jest zabronione, zastosowanie: wszystkie statki z wyjątkiem zamocowanych lub pływających platform, magazyny lub jednostki produkcyjno-magazynowe i przeładunkowe, które zostały zbudowane przed 1 stycznia 2003 roku i które nie znajdują się w dniu 1 stycznia 2003 roku lub po tej dacie w suchym doku” (data wejścia w życie: 1 stycznia 2008 r.).

Oprócz załącznika 1 istnieje również wiele innych przepisów, dotyczących kontroli systemów przeciwporostowych, wśród których przykuwa uwagę załącznik 2 odnoszący się do dokumentacji, która powinna zawierać dane dotyczące systemu przeciwporostowego, w tym m.in.: „identyfikację systemu przeciwporostowego, do którego odnosi się propozycja: nazwę systemu przeciwporostowego, nazwę aktywnego składnika i jeżeli jest to możliwe, numer „CAS” ustalony przez *Chemical Abstract Services Registry Number*, lub składniki systemu, które podejrzuje się o powodowanie niekorzystnych skutków w środowisku”.

W myśl o ochronie środowiska został również powołany do życia program SEAFRONT [3]. W ramach tego projektu naukowcy i technolodzy z ośmiu różnych państw będą wspólnie pracować nad nowoczesnymi powłokami i farbami przeciwporostowymi, które mają za zadanie doskonale chronić elementy podatne na porastanie, ale również być przyjazne dla środowiska i nie uwalniać żadnych szkodliwych substancji. International Paint, część koncernu AkzoNobel, będzie jednym z pięciu międzynarodowych uczestników programu. Jej zadaniem będzie wprowadzanie na rynek opracowanych w ramach SEAFRONT farb i dodatków.

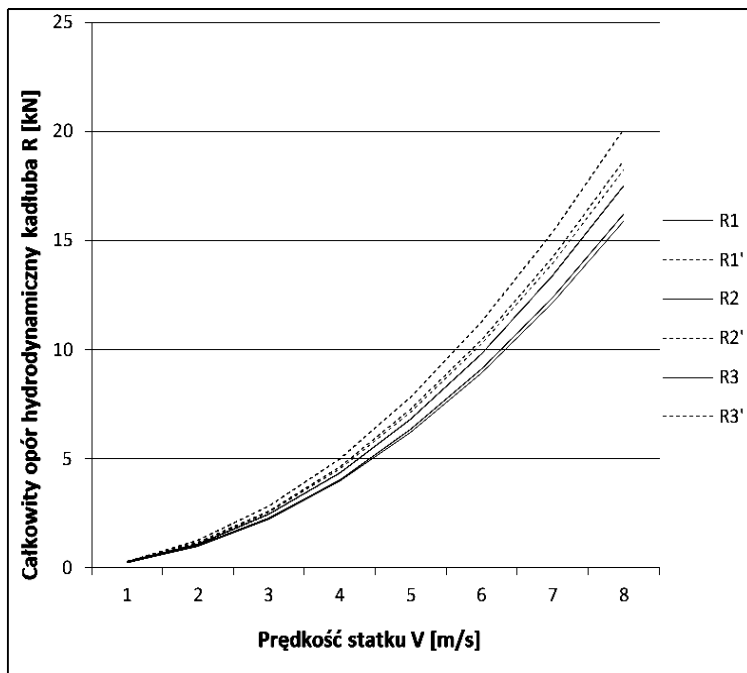
5. PRZYKŁADOWY WPŁYW POROSTÓW NA PRĘDKOŚĆ STATKU

Opory hydrodynamiczne R [kN] są nieliniową funkcją prędkości płynącego statku. Jednym ze sposobów prognozowania oporu kadłuba jest zastosowanie metody Dawsona, której postać zbliżona jest do wzoru Admiralicji [4]. Dla statków handlowych, względnie wolno płynących, których liczba Froude'a $Fr \leq 0,20$ i pełnotliwości kształtów wręgów $\varphi = 0,68-0,84$, oraz stosunek szerokości statku do jego zanurzenia $B/T = 3,5$ wzór Dawsona ma następującą postać [4]:

$$R = \frac{N_h}{V} \text{ oraz } N_h = 0,31 \cdot \frac{\tilde{N}}{L} \cdot \left(\frac{V^2}{C_v * C_{B/T}} \right), \quad (1)$$

gdzie:

- N_h – moc holowania [kW],
- V – prędkość statku [m/s],
- $\tilde{N}$ – wyporność statku [kg],
- L – długość statku [m],
- C_v – współczynnik oporu lepkości [-],
- $C_{B/T}$ – poprawka stosunku B/T dla zakresu 2,0–3,5,
- B – szerokość statku [m],
- T – zanurzenie statku [m].



Rys. 5. Zmiana oporu hydrodynamicznego kadłuba spowodowana nadmierną ilością porostów

Fig. 5. Change the hydrodynamic hull of the ship resistance caused by excessive fouling

Przykładową charakterystykę zmian siły całkowitego oporu statku w funkcji prędkości statku, wyliczoną na podstawie wzoru (1), zaprezentowano na rysunku 5.

Do obliczeń przyjęto:

$L_1 = 210[\text{m}]$; $B = 35[\text{m}]$; $T_1 = 13[\text{m}]$; $\tilde{N}_1 = 71\,680[\text{kg}]$; $\varphi_1 = 0,81$; $C_v = 3,15$.

$L_2 = 180[\text{m}]$; $B = 35[\text{m}]$; $T_2 = 10[\text{m}]$; $\tilde{N}_2 = 57\,201[\text{kg}]$; $\varphi_2 = 0,81$; $C_v = 3,15$.

$L_3 = 160[\text{m}]$; $B = 35[\text{m}]$; $T_3 = 10[\text{m}]$; $\tilde{N}_3 = 49\,664[\text{kg}]$; $\varphi_3 = 0,81$; $C_v = 3,15$.

PODSUMOWANIE

Systemy antyporostowe są stosowane na powierzchni kadłubów statków w celu zabezpieczenia powierzchni przed porastaniem już od wielu lat. Jest to jeden ze skutecznych sposobów obniżania kosztów spalania paliwa dzięki mniejszym oporom. Ponadto na rysunku 5 widać, że opory statku, spowodowane nadmiernym porastaniem, znacznie wpływają na prędkość statku.

Dzięki stosowaniu powłok antyporostowych zapobiega się również mikropęknięciom, jakie powodują na powierzchni kadłuba stworzenia tam żyjące. Niestety, całkowite wyeliminowanie substancji szkodliwych jest w chwili obecnej niemożliwe. Do dziś jeszcze używa się substancji, które nie są bezpieczne dla środowiska. Obecnie na rynku jest wielu producentów, którzy wprowadzili farby o minimalnej zawartości substancji lotnych związków organicznych oraz dają gwarancję takiej samej skuteczności jak farby konwencjonalne. Wszystko to spowodowane jest rygorystycznymi przepisami, jakie narzucają międzynarodowe organizacje w celu zmniejszenia zanieczyszczenia wód oraz ochrony fauny i flory morskiej. Warto wspomnieć, że farby te są szkodliwe również dla człowieka, m.in. działają szkodliwie na drogi oddechowe oraz mają właściwości uczulające. Używając tego typu produktów, należy zwrócić na nie szczególną uwagę.

LITERATURA

1. Giernalczyk M., Górski Z., *Siłownie okrętowe*, cz. 1, *Podstawy napędu i energetyki okrętowej*, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2011.
2. Konieczny Ł., Burdzik R., *Problemy naukowo-techniczne w wyczynowym sporcie żeglarskim*, red. Z. Dąbrowski, W. Skórski, Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Warszawa 2011.
3. Maślanka A., *Farby przeciwporostowe – w poszukiwaniu alternatywy*, <http://www.rynekfarb.pl/autor/Anna+Ma%C5%9Błanka>, <http://www.rynekfarb.pl/farby-przeciwporostowe-w-poszukiwaniu-alternatywy>, 04.2014.
4. Michalski J., *Podstawy teorii projektowania okrętów*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2013.

5. *Nadzór nad systemami ochrony przed korozją i systemami przeciwpiorostowymi*, Przepisy Polskiego Rejestru Statków, Gdańsk 2012.
6. Narewski M., *Zastosowania robotów sterowanych zdalnie do czyszczenia pod wodą kadłubów okrętów wojennych*, X Konferencja Morska „Aspekty bezpieczeństwa nawodnego i podwodnego oraz lotów nad morzem”, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Gdynia 2007.

BIOFOULING – ANTIFOULING SYSTEMS AND IT'S INFLUENCE IN NATURAL MARINE ENVIRONMENT

Summary

In article attention was drawn to the problems with fouling elements of ship, that have direct contact with water. It is one of the factors causing increase the cost of exploitation of ships. It also presents requirements of antifouling paints and contained in them harmful substances. The paper presents as very important are antifouling shell for the ships, but also reveals how adversely affect them on the marine environment. Finally, it include dependance of rate and quantity of overgrowing hull by marine flora and fauna.

Keywords: *biofouling, fouling, antifouling paint.*