

Porastanie biologiczne podwodnych części jednostek pływających

Prof. dr hab. inż. Wiesław Tarełko

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny

Jednym z najważniejszych zagadnień dotyczących eksploatacji dowolnego obiektu technicznego jest zwiększenie efektywności jego działania. W najbardziej ogólnym znaczeniu efektywność to rezultat podjętych działań, opisany relacją uzyskanych efektów do poniesionych nakładów. Zależy ona od wielu czynników, do których można zaliczyć między innymi sprawność. Zagadnienie to dotyczy również różnorodnych obiektów pływających, dla których poniesione nakłady zależą w głównej mierze od zużycia zasobów niezbędnych do wykonania określonego działania. Z kolei zużycie tych zasobów zależy między innymi od czynników charakteryzujących straty

energetyczne układu napędowego tych obiektów. W przypadku obiektu pływającego, jakim jest statek, zużycie zasobów zależy w głównej mierze od:

- efektywności pracy napędu głównego,
- oporu statku podczas jego ruchu.

Opór statku zależy w głównej mierze od oporu tarcia zanurzonej części kadłuba statku. Z kolei opór tarcia zależy od wielu innych czynników związanych z występowaniem różnego rodzaju nierówności na zanurzonej powierzchni kadłuba statku. Jednym z dość istotnych czynników zwiększających ten opór podczas eks-

platacji statku jest zjawisko porastania zanurzonej części kadłuba różnymi morskimi organizmami poroślowymi (ang. *biofouling*).

Zjawisko porastania polega na tworzeniu się biofilmu przy udziale mikroorganizmów wydzielających zewnątrzkomórkowe substancje polimeryczne EPS (*extracellular polymeric substances*) oraz jego późniejszą kolonizację przez florę i faunę wodną. Przyczyną są procesy biologiczne i fizyczne zachodzące w wodzie morskiej, zależne między innymi od strefy klimatycznej oraz od rodzaju zastosowanych powłok przeciwpiorostowych. Proces ten nasila się z wiekiem statku oraz upływem czasu od czyszczenia i malowania kadłuba podczas ostatniego dokowania statku. W wyniku zachodzącego procesu rozwoju warstwy porostowej powstaje na powierzchni kadłuba statku niejednolita struktura, która zwiększa ciężar i opór tarcia statku. Z tego względu oddziałuje ona na jego właściwości hydrodynamiczne, prędkość pływania oraz manewrowość.

Głównym celem niniejszej pracy jest określenie struktury organizmów poroślowych powstałej na zanurzonej części kadłuba statku oraz charakterystyka czynników mających wpływ na zjawisko porastania.

PORASTANIE KADŁUBA A OPÓR STATKU

Opór statku zależy przede wszystkim od takich czynników jak: prędkość, wyporność oraz kształt kadłuba. Za „ojca” metody określania oporu statku uważa się Williama Froude’a¹. W 1868 roku jako pierwszy przeprowadził szczegółowe badania oporu statku. Froude zaproponował podział oporu zanurzonej części kadłuba statku (podwodzia) na dwie składowe:

- opór poszycia kadłuba (ang. *skin friction*),
- opór resztowy (ang. *residuary resistance*).

Stanowisko badawcze Froude przedstawił w pracy [9]. Szkic tego stanowiska zaczerpnięty z [4] przedstawiono na rys. 1.

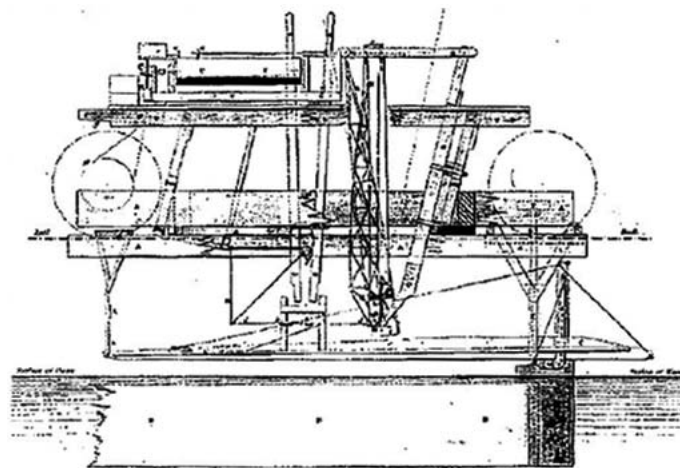
W rzeczywistości, opór stawiany przez wodę kadłubowi w niej zanurzonemu składa się z szeregu oporów cząstkowych. Szczegółowy opis poszczególnych oporów cząstkowych można znaleźć między innymi w [7].

W przypadku ogólnym, wpływ na wartość oporu tarcia ma wiele różnorodnych czynników związanych z nierównością powierzchni kadłuba statku, które mogą być rozpatrywane zarówno w mikro, jak i makro skali. Klasyfikację tych czynników przedstawiono na rys. 2.

W literaturze przedmiotowej przedstawia się zmiany wzrostu oporu kadłuba w zależności od wykonania ostatniego dokowania, a tym samym ostatniej operacji czyszczenia zanurzonej części kadłuba lub tworzenia się biofilmu w warunkach laboratoryjnych.

W raporcie [15] Instytutu Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych (*United States Naval Institute*) zamieszczono wykresy pokazujące między innymi wpływ porastania kadłuba okrętu na wzrost oporu jego kadłuba. W szczególności zaś przedstawiono zależności:

¹ William Froude (1810-1879) - brytyjski inżynier i hydrodynamic, który jako pierwszy sformułował prawa rządzące oporem, jaki napotykają statki, płynące po wodzie oraz prawa rządzące stabilnością statków. Od 1859 roku prowadził doświadczenia nad oporem hydrodynamicznym w zbiornikach, które sam budował. Od 1860 roku holował modele istniejących statków parami, porównując siłę oporu. Stwierdził różnice między oporem tarcia i oporem falowym. Podał wzór na opory tarcia oraz sformułował prawo oporu falowego.



Rys. 1. Szkic stanowiska badawczego Froude'a [9]

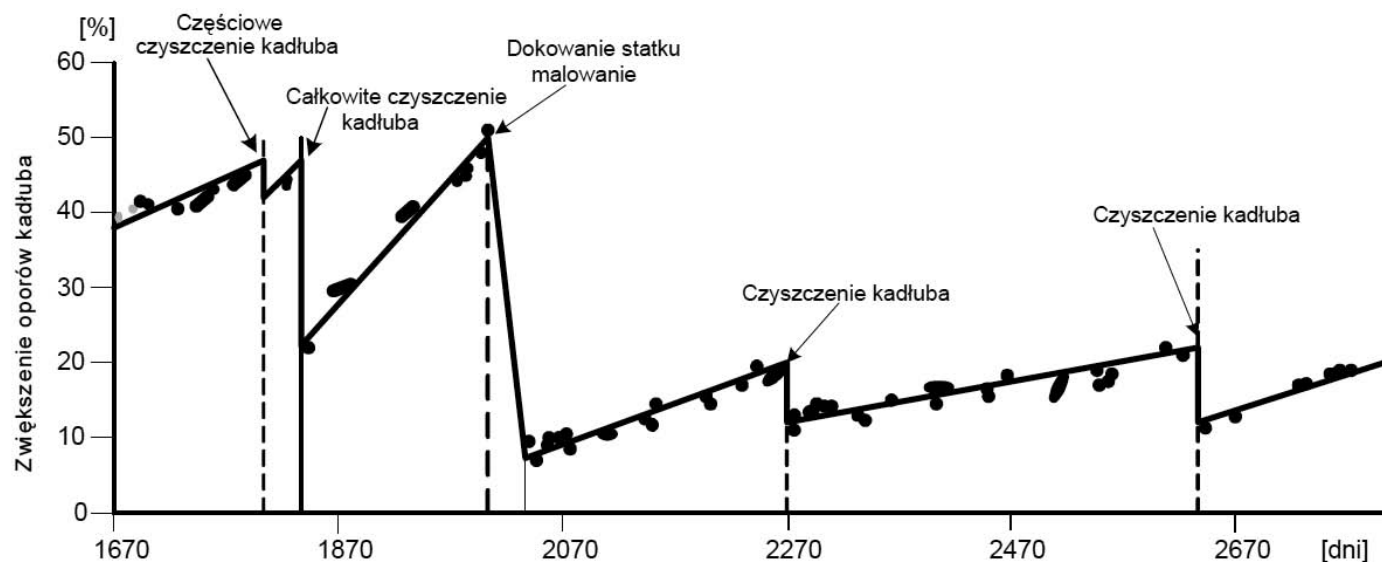


Rys. 2. Klasyfikacja czynników wpływających na opór tarcia kadłuba statku

- mocy na wale okrętowym w funkcji prędkości pływania dla kolejnych miesięcy od ostatniego dokowania,
- zwiększenia mocy na wale okrętowym (wyrażonej w procentach) w funkcji miesięcy od ostatniego dokowania przy różnych prędkościach pływania,
- zmniejszenie prędkości pływania w funkcji miesięcy od ostatniego dokowania przy stałej utrzymywanej mocy na wale okrętowym.

W pracy [17] przedstawiono wykresy wzrostu oporu resztowego kadłuba w funkcji czasu po różnych metodach konserwacji zanurzonej części statku (poszycia kadłuba, śruby napędowej). Dane do sporządzenia wykresów pozyskano z pomiaru mocy oraz obrotów silnika napędowego oraz wykorzystując zbudowany model matematyczny efektywności napędu statku. Pomiar przeprowadzono w podobnych warunkach meteorologicznych oraz podobnym stanie załadunku statku. Podobny charakter ma wykres przedstawiony na rys. 3 zamieszczony między innymi w pracach [11,16,18].

Natomiast w pracy [23] zaprezentowano badania dotyczące tworzenia się biofilmu w warunkach laboratoryjnych. Na stalowe blachy wykonane ze stali okrętowej nanoszono pokrycie przeciwpiorostowe i zanurzono je na okres 12 miesięcy w wo-



Rys. 3. Zmiany przyrostów oporu kadłuba po operacjach czyszczenia zanurzonej części kadłuba [11]

dzie morskiej. Co miesiąc, jedną z blach wyciągano z wody, następnie czyszczono i ponownie nakładano pokrycie przeciwporostowe. Badania przeprowadzono pod kątem odporności jej powierzchni na tworzenie się biofilmu. Badano między innymi wagowy przyrost suchego biofilmu odniesiony do powierzchni w zależności od czasu przebywania w wodzie morskiej. Stwierdzono, że przyrost ten nie jest proporcjonalny do czasu przebywania w wodzie morskiej.

W przedstawionych publikacjach wzrost oporu resztowego statku w funkcji czasu ma charakter liniowy. Natomiast wymienione badania laboratoryjne pokazują, że przyrost biofilmu nie jest proporcjonalny do czasu przebywania w wodzie morskiej. Z reguły charakterystyki te odnoszą się do stosunkowo krótkich okresów pomiędzy operacjami czyszczenia zanurzonej części kadłuba.

CHARAKTERYSTYKA ZJAWISKA PORASTANIA KADŁUBA STATKU

Porastanie zanurzonych powierzchni (ang. *marine biofouling*) obiektów oceanotechnicznych jest to niepożądane gromadzenie tzw. organizmów poroślowych (mikroorganizmów, roślin, alg oraz ssaków) na mokrych i wilgotnych strukturach. W języku polskim organizmy poroślowe nazywane są również peryfiton [22], zaś samo zjawisko porastania – foulingiem [22] lub biofoulingiem [6] oraz obrastaniem [11]. W dokumentach urzędowych, takich jak przepisy Polskiego Rejestru Statku, używa się wyrażenia „porastanie” [20, 21]. Zjawisko porastania organizmami poroślowymi jest jednym z najbardziej istotnych problemów, z którymi spotyka się przemysł żeglugowy, ponieważ przynosi ogromne straty ekonomiczne. Porośnięte kadłuby statków są nadmiernie obciążone oraz wykazują zwiększone tarcie, co powoduje nadmierne zużycie paliwa. Porastanie uszkadza również powierzchnie kadłubów statków i budowli oceanotechnicznych, wobec czego istotna jest ich ochrona oraz okresowe czyszczenie z nadmiaru organizmów poroślowych, co wiąże się z dużymi kosztami.

Historycznie najwcześniejszą wzmiankę o zjawisku porastania kadłuba statku zawarto w dziele jednego z największych pisarzy starożytnej Grecji, Plutarcha, pochodzącym z początku I wieku n.e. pt. *Moralia* [19]. Przedstawił on wyjaśnienie tego zjawiska oraz jego wpływ na prędkość statku „kiedy zielska, szlam i brud przyklejają się do jego burt, ruch statku jest ograniczony i słaby, a woda przepływająca przez tę obślizgłą materię niezbyt łatwo oddziela się od niej i to jest przyczyną, dlaczego kładzie się łaty na statku”².

W środowisku morskim każda powierzchnia ciała stałego zostaje porośnięta. Zjawisko to odnosi się ogólnie do niepożądanego wzrostu morskich organizmów na zanurzonych sztucznych strukturach takich jak: kadłuby statków, pale nabrzeży mola, urządzenia nawigacyjne, rurociągi morskie itp.

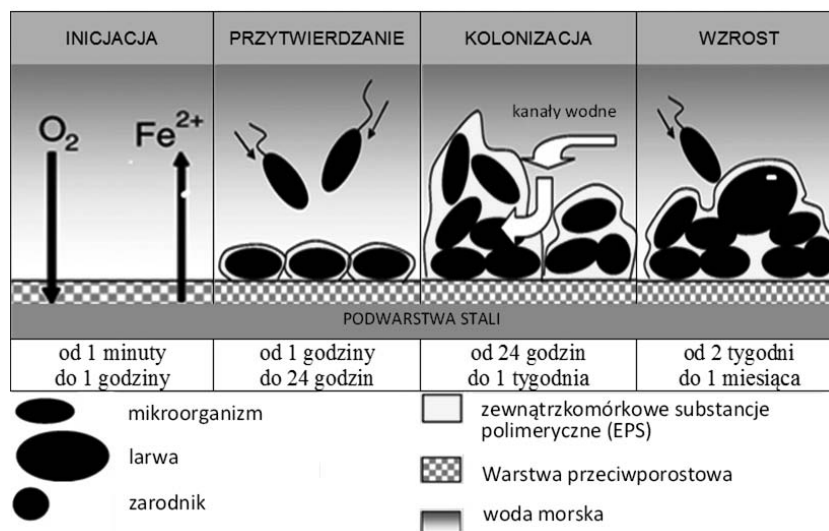
Tworzenie warstwy porostowej jest procesem wielostopniowym. Składa się z czterech podstawowych faz [2]:

- inicjacja czyli tworzenie warunków sprzyjających powstawaniu warstwy porostowej,
- przytwierdzanie mikroorganizmów,
- kolonizacja organizmów poroślowych,
- wzrost organizmów poroślowych.

Proces ten opisano w wielu publikacjach, między innymi w [2, 14], zaś mechanizm tego procesu w publikacji [13]. Poglądowo proces tworzenia warstwy porostowej przedstawiono na rys. 4. Niektóre z tych faz mogą zachodzić na siebie lub przebiegać równolegle.

Zjawisko porastania kadłuba jest procesem bardzo złożonym. W środowisku wodnym każda powierzchnia zanurzonego ciała stałego zostaje pokryta przez złożoną warstwę stanowiącą początkowo warstwę biologiczną. Drobnoustroje w środowisku naturalnym rzadko występują w postaci pojedynczych rozproszonych komórek, czyli tzw. planktonu, a raczej wykazują tendencję do adsorpcji na granicy faz ciała stałe – ciecz, ciecz – gaz czy ciecz – ciecz. Najczęściej tworzą one skupiska zwane biofilmem

² Tłumaczenie własne z języka ang. ...when weeds, ooze, and filth stick upon its sides, the stroke of the ship is more obtuse and weak; and the water, coming upon this clammy matter, doth not so easily part from it; and this is the reason why they usually calk their ships.



Rys. 4. Proces tworzenie warstwy porostowej (opracowano na podstawie [2])

(lub błoną biologiczną) przylegające do powierzchni stałych lub powierzchni komórek innych organizmów. Biofilm jest wielokomórkowym tworem złożonym z drobnoustrojów jednego lub wielu gatunków czy rodzajów [13]. Kolonizacja różnych mikroorganizmów na powierzchni jest możliwa dzięki ich adhezyjnym właściwościom, a strukturę powstałego biofilmu stabilizują zewnątrzkomórkowe substancje polimeryczne wydzielane pozakomórkowo, tzw. EPS (*extracellular polymeric substances*). Biofilm tworzą złożone, wielokomórkowe struktury, w których liczne komórki drobnoustrojów otoczone są warstwą śluzu.

Komórki mikroorganizmów wchodzących w skład biofilmu charakteryzują się specjalizacją do pełnienia różnych funkcji i wykazują odmienne cechy niż komórki żyjące w postaci wolnej. Konstrukcja tych skupisk chroni mikroorganizmy przed niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych oraz stwarza możliwości łatwiejszej dostępności substancji odżywczych. Dlatego też biofilm może funkcjonować w warunkach, w których przetrwanie pojedynczych komórek byłoby trudne, a w wielu przypadkach nawet niemożliwe.

Po utworzeniu biofilmu następuje natychmiastowe gromadzenie się mikroorganizmów (np.: bakterii, grzybów, okrzemków) i wydzielanie na ich powierzchni substancji składającej się ze zbioru zewnątrzkomórkowych substancji polimerycznych rodzaju EPS. Są to produkty metaboliczne akumulowane na powierzchni komórki, które zawierają różnego rodzaju substancje organiczne [13]. W warunkach stresowych, wywołanych oddziaływaniem sił hydrodynamicznych, mikroorganizmy intensywnie produkują polimery zewnątrzkomórkowe, co sprzyja agregacji komórek. Zjawisko to zwane mikroporostem (*microfouling*) zachodzi podczas faz przytwierdzenia, kolonizacji oraz wzrostu populacji mikroorganizmów. Warstwa biologiczna tworzy się na materiale w sprzyjających warunkach. Dostępność składnika odżywczego jest bardzo ważnym czynnikiem w optymalnym wzroście tej warstwy biologicznej. Bakterie nie są jedynymi organizmami, które tworzą początkową warstwę przytwierdzoną zwaną czasami warstwą szlamową. Udział w tym procesie mogą brać między innymi okrzemki, wodorosty morskie i ich wydzieliny.

Następnie rozwija się zjawisko zwane makroporostem (*macrofouling*). Populacja ta składa się z tzw. miękkiego lub twarde-



Rys. 5. Klasyfikacja organizmów poroślowych (opracowano na podstawie [5])

go porośla, który może rozwijać się, a następnie przytwierdzić do warstwy mikroporostu. W skład zespołów organizmów poroślowych wchodzi zarówno gatunki zwierzęce, jak i roślinne (rys. 5). Miękki porost zawiera różnorodne algi i bezkręgowce, takie jak: miękkie koralowce, gąbki, anemony, osłonice. Twarde porost zawiera różnorodne bezkręgowce, takie jak: omulki jadalne, pierścienice o robakowatym ciele, mszywioły oraz wodorosty morskie.

Zgodnie z cyklem tworzenia biofilmu (rys. 4) obserwowane są następujące czasowo zachodzące na siebie sekwencje:

- bakterie pojawiają się w przybliżeniu od 1 do 2 godzin,
- okrzemki pojawiają się po kilku godzinach,
- zarodniki makroalg oraz pierwotniaków po jednym tygodniu,
- larwy makroporostów po 2 ÷ 3 tygodniach.

W wyniku zachodzącego całego procesu rozwoju warstwy porostowej powstaje na powierzchni kadłuba statku niejednorodna struktura, którą poglądowo przedstawiono na rys. 6.

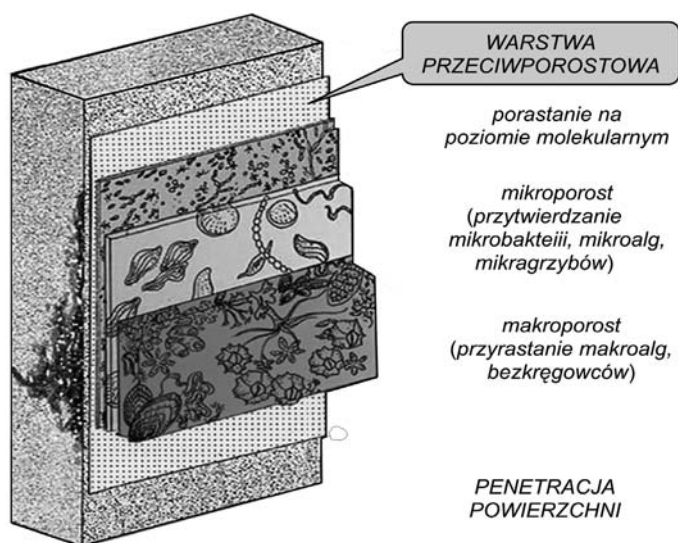
Na rys. 7 pokazano kolejne fazy porastania kadłuba statku. W pracy [3] podano, że pojawianie się śluzu (*slime*) na kadłubie statku zwiększa jego opór o około 1 do 2%, pojawianie się ziel-

ska (*weeds*) aż do około 10%, zaś pojawienie się bezkręgowców z twardą skorupą na kadłubie statku zwiększa jego opór aż do około 40%.

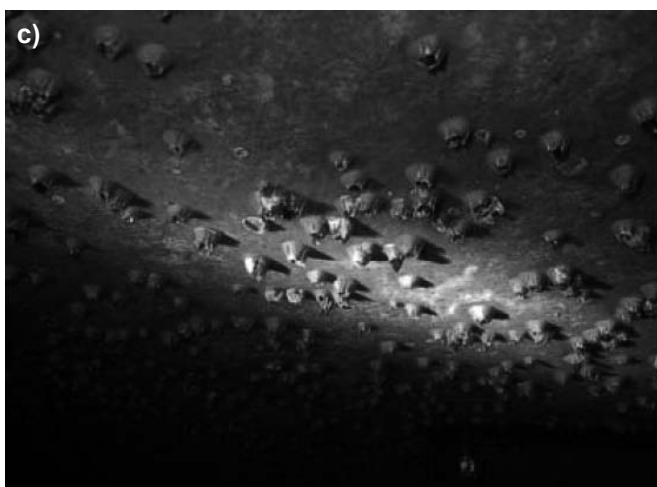
Oprócz kadłuba, również inne części statku podlegają porastaniu biologicznemu, np.: wymienniki ciepła, rurociągi układu chłodzenia, pędniki. Warstwa biologiczna znajdująca się na kadłubach statków jest bardzo silnym i skutecznym sposobem rozprzestrzeniania się organizmów żywych do innych obszarów mórz i oceanów. Zjawisko to prowadzi do tzw. bioinwazji, która uważana jest za główne zagrożenie dla różnorodności biologicznej. Przyczynia się ono również do tak zwanego efektu domina, ponieważ porośnięte powierzchnie statku muszą być często czyszczone, najczęściej z użyciem tzw. twardej chemii. To z kolei na nowo zanieczyszcza środowisko morskie.

CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA TWORZENIE SIĘ WARSTWY BIOLOGICZNEJ PORASTAJĄCEJ KADŁUB STATKU

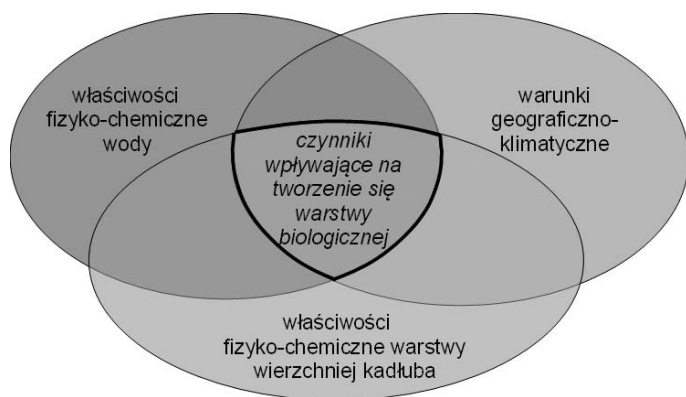
Wpływ na proces porastania kadłuba statku ma współdziałanie wiele różnorodnych czynników natury fizycznej, chemicznej oraz biologicznej. Współzależność tę przedstawiono poglądowo na rys. 8.



Rys. 6. Struktura warstwy porostowej powstałej na powierzchni kadłuba statku (opracowano na podstawie [5])



Rys. 7. Fazy porastania kadłuba statku (opracowano na podstawie [1] oraz [10])
a) śluz (*slime*); b) zielsko (*weeds*); c) bezkręgowce z twardą skorupą (*invertebrates with hard shells*); d) porost zupełny



Rys. 8. Współdziałanie czynników wpływających na tworzenie się warstwy biologicznej porastającej kadłub statku

Do najistotniejszych czynników wpływających na tworzenie się warstwy biologicznej porastającej kadłub statku należy zaliczyć:

- temperaturę wody, w której zanurzony jest kadłub statku,
- naświetlenie słoneczne warstwy wierzchniej powierzchni kadłuba,
- jakość wody,
- względny ruch wody,
- „podatność” warstwy wierzchniej kadłuba statku na porastanie.

Na wartość temperatury wody morskiej najistotniejszy wpływ mają szerokość geograficzna oraz pora roku. Ponadto, swój udział mają również prądy morskie, np. ciepły prąd Zatokowy, zimny prąd Humboldta. Największe ryzyko występowania zjawiska porastania zanurzonych powierzchni statku występuje w tropikalnym i subtropikalnym środowisku wód przybrzeżnych, gdzie temperatura wody jest stosunkowo wysoka.

Reprodukcja warstwy biologicznej w umiarkowanych szerokościach geograficznych zależy od pory roku oraz od stanu początkowego kolonii organizmów uczestniczących w zjawisku tworzenia tej warstwy. Podczas okresu zimowego, porastanie kadłuba statku w portach umiarkowanych szerokości geograficznych może być znikome lub nie występować wcale. Istnieją pewne odstępstwa od tej zasady. Przykładowo Norwegia, pomimo północnego położenia, generalnie ma łagodny klimat z chłodnym latem i łagodną zimą. Ciepłe wody północnych prądów atlantyckich, będące przedłużeniem prądu Zatokowego, przepływające wzdłuż zachodniego wybrzeża Norwegii przynoszą cieplejszy klimat niż w innych krajach na tej samej szerokości geograficznej. Morski klimat przeważa generalnie na przybrzeżnych wyspach i nizinach, a większość krajowych fiordów i portów pozostaje nieoblodzone przez cały rok.

W rejonach tropikalnych rozrost i dostępność organizmów biologicznych powodujących porastanie kadłuba statku występuje przez cały rok. Statki zawijające do tych portów są porośnięte w dość krótkim określonym czasie. Przykładowo, przyrost warstwy biologicznej do powierzchni podwodnych urządzeń portowych w dwóch marinach australijskich wynosił od 250 do 4100 jednostek na powierzchni 255 cm² w okresie czterech tygodni [8]. Zjawisko to nie zależało od pory roku.

Naświetlenie słoneczne warstwy wierzchniej kadłuba, podobnie jak temperatura wody morskiej, zależy w głównej mierze od szerokości geograficznej oraz pory roku. Ponadto wpływ na wielkość naświetlenia ma przeźroczystość (mętność) wody oraz kształt i głębokość zanurzenia podwodnej części statku. Światło wpływa w zasadniczy sposób na porastanie kadłuba statku organizmami porośłowymi. Przykładowo, algi unikają zbyt intensywnego światła i dlatego rozwijają się w zakresie głębokości od 10 do 20 m pod powierzchnią wody [14]. Na każdej szerokości geograficznej penetracja światła słonecznego może być zaburzona przez zamąconą wodę, w której mogą występować substancje organiczne, plankton lub zanieczyszczenia spowodowane działalnością człowieka. Oczywiście jest, że naświetlenie słoneczne oddziałuje w większym stopniu na te części podwozienia statku, które są ustawione najbardziej prostopadle do promieni słonecznych, np. niektóre konstrukcje pawęży statku.

Jakość wody sprzyjająca rozwojowi organizmów poroślowych zależy w głównej mierze od jej zasolenia, natlenienia, zanieczyszczenia oraz obfitości składników odżywczych. Ponadto wpływ ma również liczba i konfiguracja portowych urządzeń technicznych, a także położenie geograficzne portów. Średnie zasolenie oceanu światowego wynosi około 35‰. W zamkniętych akwenach wodnych średnie zasolenie wynosi od 40 ‰, jeżeli parowanie następuje szybciej niż dopływ wody słodkiej (Morze Martwe), do 10 ‰ w przypadku przeciwnym (Morze Bałtyckie). Zasolenie w Zatoce Botnickiej waha się od 7‰ w części południowej do zaledwie 2‰ w części północnej.

W rejonach tropikalnych istnieją porty, na wody których oddziałują strumienie wody słodkiej związane z obfitymi opadami monsunowymi. W portach strefy tropikalnej, w których ujścia mają okresowo wysychające rzeki obserwowany jest znaczący spadek zasolenia wody morskiej. Szczególnie uwidacznia się on w okresie intensywnych opadów pojawiających się podczas sztormów tropikalnych. Znaczącemu spadkowi zasolenia wody towarzyszy „uśmiercenie” organizmów żywych. Ich odbudowa następuje dopiero po okresie jednego miesiąca.

Substancje organiczne produkowane przez rośliny są bardzo dobrym pożywieniem dla zwierzęcych organizmów poroślowych. Żyjące mikroorganizmy (bakterie, pierwotniaki, algi) lub detryty (drobno szczątkowa, martwa materia organiczna) przenoszone przez prądy morskie stanowią naturalne składniki odżywcze. Wody oceaniczne są bardziej ubogie w składniki odżywcze niż wody przybrzeżne, na które oddziałują ścieki komunalne i przemysłowe. Z tego względu wody przybrzeżne są bardziej przyjazne rozwojowi organizmów poroślowych. Ponadto, wody przybrzeżne zawierają więcej larw poroślowych aniżeli wody oceaniczne [14].

Na względny ruch wody mają wpływ prądy morskie (w przypadku postoju w portach) oraz ruch statku podczas żeglugi. Zjawisko porastania kadłuba w głównej mierze występuje wówczas, gdy statki są zacumowane w przybrzeżnych portach, najczęściej podczas przeprowadzania operacji ładunkowych. Jednakże, w takich portach mogą pojawić się różne przepływy wody wywołane np. przypływami i odpływami, czy też wpływającymi rzekami. Mała wielkość prądu wody morskiej początkowo sprzyja tworzeniu się biofilmu na warstwie wierzchniej kadłuba statku. Jednakże, w późniejszej fazie rozwoju ogranicza wzrost warstwy biologicznej [14]. Ukształtowanie nabrzeży, torów wodnych i falochronów portów może przyczyniać się do

zakłócenia kierunku i wielkości prądów wodnych. Zmieniony kierunek fali morskiej i prądów morskich oddziałuje na intensywność zasiedlenia organizmów powodujących porastanie zanurzonych powierzchni urządzeń portowych. To z kolei w znaczący sposób zmniejsza powstawanie warstwy biologicznej na kadłubach statku. Również liczba i konfiguracja portowych urządzeń technicznych, a także położenie geograficzne portów w znaczącym stopniu wpływają na zjawisko porastania. W pracy [8] podano, że aż 19 razy zwiększyła się populacja kolonii organizmów poroślowych na zanurzonych powierzchniach w zamkniętych basenach portowych w okresie czterotygodniowym w porównaniu z otwartymi basenami portowymi nieosłoniętymi żadnymi falochronami. W portach, które zaprojektowano jako dobre schronienie dla statków, ale równocześnie mają zapewniony stały dopływ świeżej wody, obserwuje się zmniejszone porastanie kadłuba w porównaniu z portami bez takiego przepływu.

Prędkość statku podczas żeglugi warunkuje tworzenie się warstwy biologicznej na jego kadłubie. W większości przypadków bakterie osiedlają się przy prędkości mniejszej niż 1m/s (około 2 węzły). Natomiast duża prędkość statku sprzyja odrywaniu się porostu. Przykładowo, wąsonogi zaczynają odrywać się przy prędkości od 10 do 15 węzłów w przypadku zastosowania silikonowego pokrycia przeciwporostowego. Natomiast najbardziej efektywnie zjawisko to występuje przy prędkości statku powyżej 30 węzłów [24].

„Podatność” warstwy wierzchniej kadłuba statku na porastanie zależy w głównej mierze od chropowatości powierzchni zastosowanej powłoki przeciwporostowej oraz hydrofobowości, czyli skłonności cząsteczek chemicznych do odpychania od siebie cząsteczek wody.

PODSUMOWANIE

Jednym z dość istotnych czynników zwiększających opór tarcia kadłuba statku jest zjawisko porastania kadłuba. Jest to złożone zjawisko, podczas którego można zaobserwować wiele faz tworzenia się warstwy biologicznej, tzw. biofilmu. W wyniku zachodzącego całego procesu rozwoju tej warstwy powstaje na powierzchni kadłuba statku niejednorodna struktura. Wpływ na ten proces ma współdziałanie wiele różnorodnych czynników natury fizycznej, chemicznej oraz biologicznej.

LITERATURA

1. Atlar M.: An update on marine antifoulings. 25th ITTC Group Discussions 3 – Global Warming and Impact on ITTC Activities. School of Marine Science & Technology, UK. <http://riam.kyushu-u.ac.jp/ship/itcc/presentation/PPT-GD3-Mehmet.pdf>.
2. Chambers L. D., Walsh F. C., Wood R. J. K., Stokes K. R.: Modern approaches to marine antifouling coatings. World Maritime Technology Conference. ICMES Proceedings. The Institute of Marine Engineering, Science and Technology, March 2006.
3. Champ M. A.: A review of organotin regulatory strategies, pending actions, related costs and benefits. Proceedings of the 24th UJNR (US/Japan). Hawaii. 2001.
4. Date J. C., Turaock S. R.: Ship Science Report No. 114. University of Southampton March 1999. <http://eprints.soton.ac.uk/46061/1/114.pdf>.

5. Davis A., Williamson P.: Marine Biofouling: A Sticky Problem, NERC News, 1995.
6. Domański J., Cieślak J., Borowski S.: Biofouling statków i sposoby jego zwalczania. Ochrona przed Korozją. SIGMA-NOT. Nr 11. 2011, 622-626.
7. Dudziak J.: Teoria okrętu. Biblioteka Okrętownictwa. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1988.
8. Floerl O.: Factors that influence hull fouling on ocean-going vessels. Hull Fouling as a Mechanism for Marine Invasive Species Introductions. Proceedings of a Workshop on Current Issue and Potential Management Strategies February. Honolulu, Hawaii. 2003.
9. Froude W.: Experiments on Surface-friction experienced by a Plane moving through water. 42nd Report by the British Association for the Advancement of Science. Vol. 42. 1872. 118-125.
10. Grosholz T.: Introduction to Maritime Transportation: Non-Indigenous Aquatic Invasive Species. Department of Environmental Science and Policy. University of California. http://ballast-outreach-ucsfep.ucdavis.edu/newsletters/California_Maritime_Academy_Seminar_200642181.ppt.
11. Jurdziński M.: Metody zmniejszenia zużycia paliwa w procesie eksploatacji statku. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Nr 67, Gdynia 2010, 11-25.
12. Kaniak T.: Aktywna ochrona okrętowych systemów wodnych przed korozją i porastaniem – przegląd problemów. Materiały XII Krajowej Konferencji ‘Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej’. Jurata 2012, 173-178.
13. Kołwzan B.: Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego powstawania i funkcjonowania. Ochrona Środowiska. Nr 4. Vol. 33. 2011. <http://www.pzits.not.pl/docs/Kolwzan.pdf>.
14. Lehaitre M., Compere C.: Biofouling and underwater measurements. ftp://ocean.e-obs-vlfr.fr/pub/marcel/Book%20Chapters/Leha%EETre/First%20draft/Texte_HABmlhcc.pdf.
15. Marine Fouling and Its Prevention. United States Naval Institute. Annapolis, Maryland. 1952. www.vliz.be/imisdocs/publications/224762.pdf
16. Martensen N. B.: Ship fuel efficiency in a historical perspective. Bulletin vol. 104. 2009. pp. 48-36. https://www.bimco.org/en/News/2009/12/~media/News/2009/General/Ship_Fuel_efficiency_in_a_historical_perspective_BB1_2009.ashx.
17. Munk T.: Fuel Conservation through Managing Hull Resistance. Motorship Propulsion Conference, Copenhagen. 2006.
18. Narewski M.: HISMAR – Underwater Hull Inspection and Cleaning System as a Tool for Ship Propulsion System Performance Increase. Journal of POLISH CIMAC. Vol. 4 No 2. 2009.
19. Plutarch. Plutarch’s Morals. Translated from the Greek by several hands. Corrected and revised by. William W. Goodwin, Little, Brown, and Company. Cambridge. Press of John Wilson and Son, 1874. <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/>
20. Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich – część II: Kadłub. Polski Rejestr Statków. Gdańsk 2011.
21. Przepisy. Publikacja Nr 55/P. Nadzór nad systemami ochrony przed korozją i systemami przeciwporostowymi. Polski Rejestr Statków. Gdańsk 2012.
22. Rosińska B. i inni: Struktury ekologiczne zespołu makrofauingu wschodniego wybrzeża Zatoki Pomorskiej (Południowy Bałtyk) w 2008 roku na podłożach antropogenicznych. Inżynieria Ekologiczna Nr 35. 2013, 60-68.
23. Taylan M.: An Overview: Effect of Roughness and Coatings on Ship Resistance. International Conference on Ship Drag Reduction SMOOTH-SHIPS, Istanbul, Turkey. 2010. <http://www.smooth-ships.itu.edu.tr/presentations/presentation5.pdf>.
24. Younglood, J. i inni: New materials for marine biofouling resistance and release: semi-fluorinated and pegylated block copolymer bilayer coatings. Polymeric Materials Science and Engineering, vol. 88, 2003, 608-609.