

Mirosław Jurdziński

Akademia Morska w Gdyni

TECHNOLOGICZNE I EKSPLOATACYJNE METODY ZMNIEJSZANIA OPORÓW KADŁUBA W CELU OBNIŻENIA ZUŻYCIA ENERGII NA STATKACH MORSKICH

W pracy przedstawiono uwagi dotyczące budowy kadłuba w aspekcie zmniejszenia oporów w ruchu. Omówiono teoretyczne podstawy wpływu oporów kadłuba na straty prędkości i zwiększenie zużycia paliwa. W dalszej części opisano wpływ chropowatości kadłuba na spadek prędkości oraz metody konserwacji jego podwodnej części.

Słowa kluczowe: opory kadłuba, zmniejszenie zużycia energii okrętu.

WSTĘP

Wprowadzenie przez IMO przepisów z zakresu ochrony środowiska morskiego nakłada na kapitana statku handlowego obowiązek przestrzegania zaleceń Konwencji MARPOL, dotyczących określania wskaźników zużycia paliwa w danej grupie statków.

Znajomość procesów energetycznych oraz ich optymalizacji na współczesnych statkach morskich stanowi podstawę do uzyskiwania efektów ekonomicznych oraz przyczynia się do ochrony środowiska morskiego. Ten dział wiedzy obejmuje ważny zakres w praktyce zawodowej mechaników okrętowych i nawigatorów, ze względu na konieczność sprostania wymaganiom wynikającym z zaleceń Konwencji, a także interesów finansowych armatora lub czarterującego.

Ważnym elementem w tym procesie jest prędkość statku, która jest nie tylko pojęciem fizycznym, ale staje się ważnym elementem ekonomicznym i ekologicznym.

Tendencje do obniżania zużycia energii na statkach morskich występują w całej światowej flocie handlowej. Ma to również ścisły związek z działalnością konkurencyjną armatorów na światowym rynku frachtowym.

1. KIERUNKI INNOWACJI W KONSTRUKCJI KADŁUBÓW OKRĘTOWYCH

Komitet Ochrony Środowiska Morskiego Międzynarodowej Organizacji Morskiej z siedzibą w Londynie [*Maritime Environmental Protection Committee (SPEC)*], od lat pracuje nad przepisami dotyczącymi ochrony środowiska morskiego. Głównie chodzi o zmniejszenie wycieków zanieczyszczających i zatruwających środowisko morskie oraz zredukowanie emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Osiągnąć to można m.in. przez zmniejszenie zużycia energii na statkach. Do jej oszczędności przyczynić się może zmniejszenie oporów kadłubów. W laboratoriach chemicznych trwają prace nad nowymi komponentami farb antykorozyjnych i antyporostowych, które stosowane są zarówno w fazie projektowania, jak i w procesie eksploatacji.

Nowe techniki i technologie pozwalają na zastosowanie najnowszych materiałów do budowy kadłubów. Wprowadza się najnowsze metody projektowania statków, przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

Optymalizacja kształtów kadłuba statku opiera się głównie na testowaniu modeli statków projektowanych w odpowiednich basenach, gdzie stworzone są warunki odpowiadające naturalnym, oraz przeprowadzaniu prób symulacyjnych, co umożliwia wprowadzanie zmian i ulepszeń jeszcze w fazie projektu.

Poprzez minimalizację balastów oraz mas mniej ważnych urządzeń okrętowych uzyskuje się zwiększoną nośność, a także mniejsze opory kadłuba. Przykład: zmniejszając stały balast o 3000 ton, przy zwiększeniu szerokości dużego statku o 0,25 m, uzyskuje się niezmienną wysokość metacentryczną, a moc napędową można zmniejszyć o 8,5% wartości początkowej [9]. Poprzez poszukiwania optymalnej długości statku i współczynnika pełnotliwości można uzyskać odpowiednią redukcję oporów kadłuba w ruchu. Duża wartość stosunku L/B stanowi o smukłości linii kadłuba i niskiej wartości oporów na fali. Zmniejszenie masy stali użytej do budowy kadłuba od 5 do 20%, dzięki zastosowaniu materiałów o wyższej wytrzymałości, pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania na moc S.G. o około 9%. W czasie ruchu statku pełnotliwe burty wypychają masy wody na zewnątrz, tworząc fale. Długość fali jest proporcjonalna do prędkości statku. Wysokość takiej fali wzrasta w rejonie dziobu i rufy. Zastosowanie konstrukcji dziobu w formie gruszki oraz odpowiedniego kształtu rufy zmniejsza lub całkowicie redukuje falę dziobową, zmniejszając opór kadłuba w ruchu.

Poszukiwanie idealnego kształtu kadłuba statku handlowego rozpoczyna się od określenia oporów wodnych i powietrza, które statek pokonuje w ruchu. Ma to służyć redukcji zużycia paliwa. Na wstępie stosowane są metody symulacyjne na założonych parametrach numerycznych [8]. Następnie prowadzone są badania związane z koncepcją budowy systemu napędowego.

Projektowanie dziobowej części kadłuba obejmuje optymalne dopasowanie gruszki dziobowej w zależności od przeznaczenia statku, rejonów i warunków żeglugi. Kształty gruszek dobiera się również w zależności od zmian zanurzenia statku w procesie eksploatacji w różnych fazach pływania.

Konstrukcja rufy musi być poddawana optymalizacji pod względem rozkładu strumienia nadążającego w rejonie steru i śruby. Odrębny problem stanowi dopracowanie współpracy kadłub – ster – śruba w celu uzyskania minimalizacji zużycia energii.

Obniżenie oporów kadłuba można osiągać metodami technologicznymi oraz eksploracyjnymi. Do metod technologicznych należy zaliczyć optymalizację budowy kadłuba w zakresie parametrów geometrycznych, udoskonalenie kształtów dziobu (gruszki) oraz śruby (ster – śruba). Metody eksploatacyjne obejmują dbałość o względną czystość części burt zanurzonych, bardziej narażonych na rdzę, uszkodzenia mechaniczne i obrosty organiczne.

Obniżenie masy stalowych kadłubów statków osiąga się poprzez laserowe spawanie paneli modułarnych oraz użycie do budowy materiałów o podwyższonej wytrzymałości [2].

Stosując metodę SANDWICH w budownictwie okrętowym, uzyskuje się znaczące efekty, polegające na:

- obniżeniu masy do 50% – zwiększenie powierzchni ładunkowej;
- polepszeniu warunków eksploatacji – zmniejszenie wibracji;
- znaczącym polepszeniu odporności na zderzenia;
- zwiększeniu bezpieczeństwa przeciwpożarowego;
- poprawie dokładności konstrukcji;
- łączeniu całości konstrukcji w sposób elastyczny.

Opory można zmniejszyć również przez zastosowanie systemów napowietrzania powierzchni zanurzonej kadłuba statku.

Metody eksploatacyjne obejmują optymalne planowanie podróży, dostosowanie prędkości statku do warunków zakłócających eksploatację. Ważny element stanowi optymalizacja sterowania statkiem przez zastosowanie odpowiedniej techniki.

Reasumując, główne kierunki nowych konstrukcji kadłubów okrętowych prowadzą do zmniejszenia oporów w celu obniżenia zużycia energii okrętowej, poprzez [1]:

- optymalizację geometrycznych parametrów kadłuba;
- obniżanie masy kadłuba;
- dopasowanie systemów napędowych do kadłuba (s.g., ster, śruba);
- optymalizację metod eksploatacji statku.

2. WPŁYW ZMIAN OPORÓW KADŁUBA NA PRĘDKOŚĆ I MOC SILNIKA GŁÓWNEGO

Opory statku uwzględniane są już w fazie projektowania. Służą temu badania modelowe oraz opracowania teoretyczne. Dalsze badania prowadzone są w procesie eksploatacji.

Przy stałej mocy pracy S.G., wraz ze zmianą oporów zmienia się prędkość statku. Spadek prędkości spowodowany jest dodatkowym oporem, wynikającym z zakłóceń zewnętrznych, działających na statek w czasie trwania podróży.

Te zmiany, bardzo dynamiczne, spowodowane są uwarunkowaniami środowiska morskiego na skutek działania: wiatru, prądów, falowania morza, lodów, płytkowodzia itp. Zmiany oporu statku następują powoli. Okres ten zwykle wynosi około 5 lat (ok. 60 miesięcy). Opór zwiększa się wraz ze wzrostem chropowatości podwodnej części kadłuba spowodowanej korozją, nierównością blach poszycia, osadzaniem się porostów, osadu, szlamu i organizmów żywych osiadłych na poszyciu. Taka składowa oporu określana jest jako część statyczna.

Całkowity opór statku można zapisać wzorem:

$$R_T = R_0 + \Delta R \quad [\text{kN}] \quad (1)$$

$$\Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 \quad [\text{kN}] \quad (2)$$

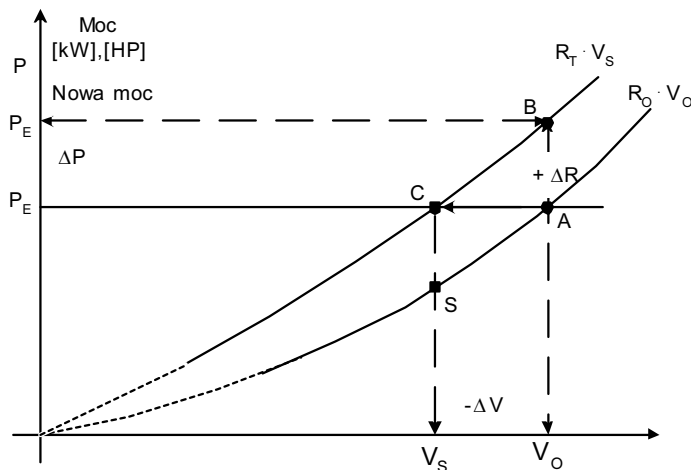
gdzie:

R_0 – opór kadłuba po dokowaniu na spokojnej wodzie,

ΔR_1 – składowa oporu dynamicznego od środowiska w procesie eksploatacji,

ΔR_2 – składowa oporu statycznego – obrostów.

Przy stałej mocy S.G. wraz ze wzrostem oporów ΔR prędkość statku maleje (rys. 1).



Rys. 1. Wykres oporów w zależności od prędkości i mocy statku

Fig. 1. Typical graph of ship resistance in function of speed and effective power

Z rysunku 1 wynikają następujące zależności [11]:

$$R_T \cdot V_S = (R_0 + \Delta R) \cdot V_0 \quad [kN] \quad (3)$$

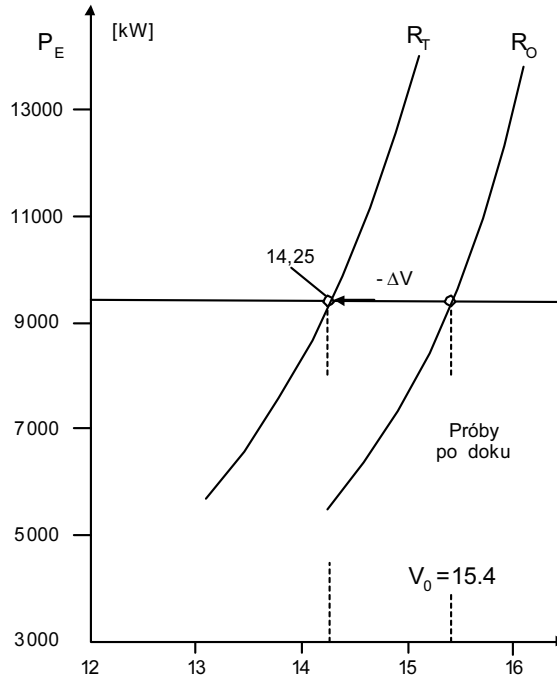
gdzie:

R_T – opór całkowity przy wzroście oporu kadłuba,

V_S – aktualna prędkość przy wzroście oporów o ΔR ,

V_0 – prędkość na spokojnej wodzie wolna od zakłóceń zewnętrznych,

ΔR – wzrost oporów statycznych i dynamicznych.



Rys. 2. Przykład zmian prędkości statku w wyniku wzrostu całkowitego oporu

Fig. 2. Graph showing the ship speed reduction due to increase of total resistance

Na spokojnej wodzie opór statku w ruchu można określić jako aV_0^2 , a ponieważ nastąpił wzrost oporu, to prędkość zmalała i wynosi V_S (rys. 1).

Gdy $AB = CS$ przy założeniu, że P_E się nie zmienia, to można napisać równanie w postaci:

$$V_S^2 \cdot V_S + R_0 \cdot V_0 = a \cdot V_0^2 \cdot V_0 \quad (4)$$

Przy założeniu, że $P_E = aV_0^3$, przekształcone równanie (4) ma postać:

$$V_S = (V_0^3 - \Delta V)^{1/3} \quad [w] \quad (5)$$

gdzie:

ΔV – spadek prędkości w wyniku wzrostu oporów, który można zapisać w postaci

$$\Delta V = \frac{\Delta R \cdot V_0}{a},$$

a – współczynnik dla danego statku, związany z ilością zużycia paliwa.

Aby utrzymać prędkość V_0 , należy zwiększyć moc pracy S.G. o wartości ΔP_E . Całkowity opór kadłuba statku wyraża się wzorem:

$$R_T = 0,5 C_T \cdot \zeta \cdot S \cdot V_S^2 \quad [\text{kN}] \quad (6)$$

gdzie:

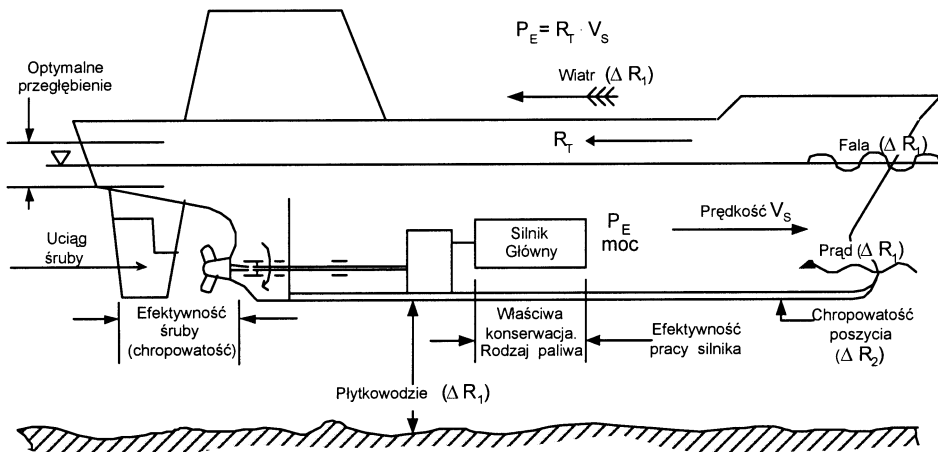
- C_T – współczynnik całkowitego oporu kadłuba,
- ζ – głębokość zanurzenia kadłuba,
- V_S – prędkość statku [m/s],
- S – mokra powierzchnia zanurzonej części kadłuba [m²].

Podobnie, efektywna moc napędu statku w procesie eksploatacji wyrażona jest zależnością (7):

$$P_E = R_T \cdot V_S \cdot p \quad [\text{kW}] \quad (7)$$

gdzie:

- V_S – prędkość statku [m/s],
- P – poprawka eksploatacyjna.



Rys. 3. Układ mocy efektywnej, oporu i prędkości statku w procesie eksploatacji

Fig. 3. Layout of effective power, resistance and speed during ship operation

Poprawka eksploatacyjna związana jest ze zmianą oporów w czasie pływania

$$p = \left(1 + \frac{k}{100} \right) \quad (8)$$

k – wartość wyrażona w procentach, zależy od parametrów (smukłości) kadłuba oraz od rejonu eksploatacji. Dla Atlantyku Północnego $k = 20 - 35$, dla Pacyfiku zaś $20 - 30$.

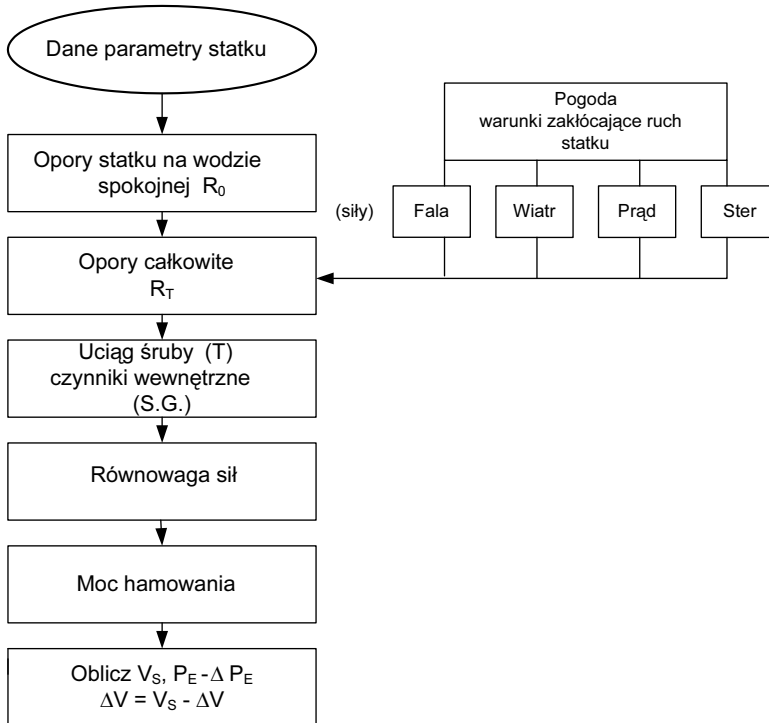
Wartość S oblicza się wzorem:

$$S = 1,025 \left(\frac{\nabla}{T} + 1,7 \cdot L_{pp} \cdot T \right) \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$

gdzie:

- ∇ – wyporność [t],
- T – zanurzenie statku [m],
- L_{pp} – długość kadłuba [m].

Sposób określania prędkości statku przy zakłóceniach zewnętrznych pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Algorytm do oceny prędkości statku i mocy efektywnej S.G. w warunkach zakłóceń zewnętrznych (dynamicznych) [13]

Fig. 4. Algorithm for ship speed and effective power calculation during external environmental disturbances by sea wind and currents

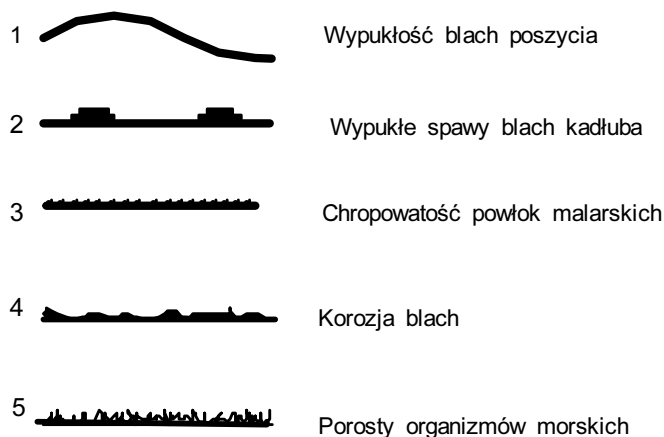
3. WPŁYW GŁADKOŚCI KADŁUBA W PROCESIE EKSPLOATACJI NA PRĘDKOŚĆ I ZUŻYCIĘ ENERGII NA STATKU

Stan gładkości (chropowatości) podwodnej części kadłuba jest ważnym elementem ekonomicznym w procesie eksploatacji statku.

Znaczny poziom chropowatości zanurzonej części kadłuba wyraźnie podnosi koszty eksploatacji. Podnoszenie mocy S.G. wpływa ujemnie na środowisko morskie poprzez większą emisję gazów do atmosfery. Zwiększony opór statku w ruchu powoduje zwiększanie mocy S.G., przez co wzrasta zużycie paliwa (rosną koszty).

Chropowatość z przyczyn fizycznych powstaje w wyniku wystających nierówności na poszyciu statku [18]. Powstają one na skutek uszkodzeń mechanicznych (wgniecenia, pęknięcia), a także wżerów rdzy powodującej ubytki w poszyciu (rys. 5).

Podobna chropowatość kadłuba wynika z przyczyn biologicznych, czyli narastania osadów organizmów żywych i roślinnych. Zjawiska te występują zarówno w makro, jak i mikropostaci. Przy pojawieniu się obu zjawisk, chropowatości i nierówności na powierzchni kadłuba, wzrastają opory tarcia, co powoduje potrzebę podwyższenia mocy efektywnej S.G. dla zachowania stałej prędkości.



Rys. 5. Stan poszycia kadłuba statku jako zjawisko fizyczne i źródło oporów dodatkowych [6]

Fig. 5. Physics state of under water hull plates causing the additional resistance ship

Bezpośrednie pomiary prędkości wykazały, że statek, w okresie 60 miesięcy między przeglądami, traci na prędkości średnio 5%, co oznacza, że sukcesywnie zwiększa się zużycie paliwa (do 15%) [12].

W wyniku badań stwierdzono, że przyrost warstwy chropowatej zewnętrznej kadłuba o 10 μm powoduje potrzebę wzrostu mocy S.G. o 1% [12].

Nowy kadłub statku posiada warstwę farby o grubości 125 μm , natomiast roczny przyrost warstwy obrostów wynosi od 50–70 μm . Statek nowy zatem, o konwencjonalnym pokryciu farbą przeciwporostową, z upływem czasu pokrywa się porostami biologicznymi, co przyczynia się do wzrostu chropowatości.

Wielkość zjawiska obrostów i korozji kadłuba jest trudna do prognozowania, gdyż zależy od wielu różnych czynników występujących w rejonach pływania, których nie można przewidzieć. Najczęstszą przyczyną korozji są reakcje chemiczne zachodzące na styku stalowego kadłuba z wodą morską. Natomiast organizmy żywe znajdują odpowiednie warunki do życia i rozmnażania.

W tabeli 1 przedstawiono wpływ zanieczyszczenia blach poszycia podwodnej części kadłuba porostami i innymi organizmami żywymi na spadek prędkości i potrzeby zwiększenia zużycia paliwa na kontenerowcu, w celu utrzymania stałej prędkości 15 węzłów [10].

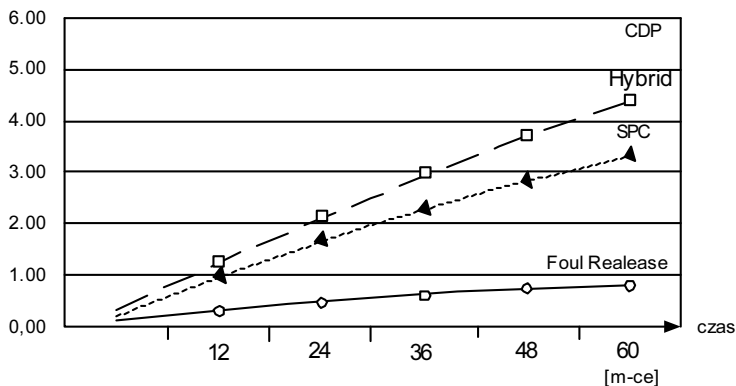
Tabela 1. Wpływ chropowatości kadłuba na spadek prędkości statku i zwiększenie zużycia paliwa (w %) dla utrzymania prędkości statku 15 węzłów [10]

Table 1. The hull roughness influence on speed reduction and inure crease of fuel consumption in % to maintain the ship speed of 15 knots

Stan chropowatości	Chropowatość w % [μm]	Spadek prędkości od 15 węzłów w %	Zwiększenie zużycia paliwa w % dla utrzymania 15 węzłów
Nowa farba po doku	150	2	–
Lekki nalot	300	11	6
Silny nalot	600	21	12
Małe obroty	1000	35	18–24
Średnie obroty	3000	54	61
Silne obroty organizmów żywych	10 000	86	92

Strata energetyczna na statku w ruchu wynika nie tylko ze wzrostu chropowatości, ale także z innych przyczyn, takich jak np. opory falowe, wiatrowe, prądów oraz opory na płytkowodziu, gdzie statek traci sporo energii na utrzymanie prędkości identycznej jak na wodach głębokich.

Na rysunku 6 pokazano zmiany właściwości ochronnych (o różnych składach chemicznych), w czasie wzrostu zapotrzebowania na moc, a także na wielkość zużycia paliwa.



Rys. 6. Wzrost zapotrzebowania na moc i paliwa w %, w wyniku obniżenia przez obrosty skuteczności ochrony kadłuba farbami [15]

Fig. 6. Increase of need of in power plant in % in case of reduction the antifouling effectiveness by different paints

Metody stosowane do utrzymywania gładkości poszycia zanurzonej części kadłuba wpływają na zmniejszenie oporów dodatkowych, a tym samym na mniejsze zużycia paliwa oraz ograniczenie emisji gazów do atmosfery [14]:

- piaskowanie kadłuba na doku – mimo wysokich kosztów tych zabiegów – należy koniecznie wykonywać, zwłaszcza na statkach ponad 10-letnich;

- szlifowanie (polerowanie) śruby (śrub) napędowej – wykonywać stosunkowo często, w sposób planowany, niskie koszty, małe ryzyko uszkodzenia;
- czyszczenie podwodne kadłuba – większe koszty, ale również większe możliwości uzyskania dobrych efektów;
- pokrywanie farbami dobrej jakości – dobre rezultaty, dłuższy okres pływania bez dokowania.

4. METODY KONSERWACJI KADŁUBÓW STATKÓW

Konserwacja podwodnej części kadłuba statku polega na warstwowym malowaniu farbami, w czasie dokowania statku, oczyszczonej powierzchni poszycia stalowego.

Przygotowanie powierzchni odbywa się metodą piaskowania drobnymi cząstkami piasku pod ciśnieniem i silnym strumieniem wody. Na suchą powierzchnię blach kładzie się dwukrotnie farbę przeciwkorozyjną (AC), a następnie trzy warstwy farby przeciwporostowej (AF).

Powierzchniowe farby przeciwporostowe (*An fouling Paints*) posiadają w swym składzie środki trujące. We wrześniu 2008 roku weszła w życie Konwencja IMO zakazująca stosowania farb przeciwporostowych, mających w składzie pestycydy, m.in. TRI-Butyl-Fin (TBT). Toksyczne komponenty farb przeciwporostowych degradowały środowisko morskie na całym świecie. Stosowanie farb ze związkami biocydów jest zakazane.

Obecnie powszechnie stosowane są cztery rodzaje antyfoulingów:

1. CDP – *Controlled Depletion Polymer* – grubość pokrycia 10–15 μm .
2. Hybrid – *Hybrid Coatings* – związki akrylowe.
3. SPC – *Self Polishing Copolymer* – (na bazie akrylowych polimerów), grubość pokrycia 25–30 μm .
4. *Foul Release – Fouling Release* – na bazie silikonów.

Kompozycja większości farb przeciwporostowych opiera się na tlenkach metali (miedzi, cynku, cyny oraz akrylu i polimerów) [3].

Nowy rodzaj farb fluoropolimerowych (FP), przeznaczonych do pokrywania podwodnej części kadłuba (stosowanych na statkach nowo budowanych), charakteryzuje się;

- niską chropowatością;
- dużą odpornością na uszkodzenia mechaniczne;
- łatwością usuwania porostów, redukującą możliwość ich osiadania;
- możliwością stosowania do malowania statków o prędkości powyżej 10 węzłów [17].

Dotychczasowe porównania efektów stosowania farb fluoropolimerowych wykazują około 6% obniżenie zużycia paliwa, a emisja gazów do atmosfery spadła o 2%, natomiast przy kolejnym dokowaniu statku odnotowano mniejsze zużycie farb. W stosunku do dotychczas stosowanych farb silikonowych oszczędności są

znaczne. Poza tym wartość miary chropowatości powierzchni malowanej kadłuba statku po użyciu farb (SPC) (*Self Polishing Copolymer*) wynosi 125 μm , farby siliikonowe osiągają wartość chropowatości rzędu 100 μm , natomiast farby fluoropolimerowe – do 75 μm .

Korzyści malowania podwodnej części kadłuba farbami przeciwporostowymi podkreśla fakt około 40% zmniejszenia zużycia paliwa w takich samych warunkach eksploatacji. Byłyby to ogromne koszty utrzymania statku w eksploatacji (tab. 2).

Tabela 2. Przykład kosztów eksploatacji trzech różnych statków [5]

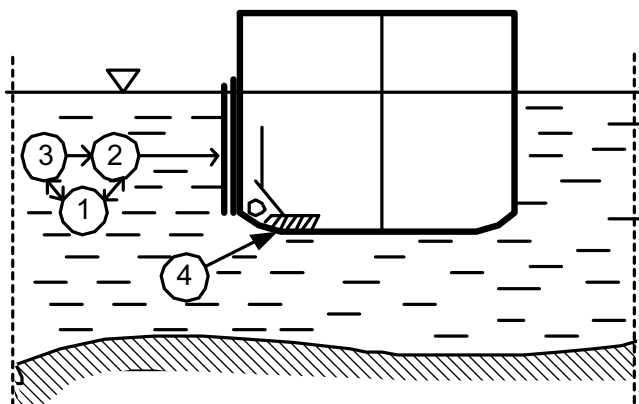
Table 2. Example of operational cost of three different ship

Lp.	Rodzaj kosztów	Aframax	Ropax	Kontenerowiec
1	Prędkość eksploatacyjna [węzły]	15	28	24
2	Moc efektywna (MW)	17	40	44
3	Dzienne zatrudnienie (godziny)	24	12	24
4	Zużycie paliwa – dzienne (t)	69	82	180
5	Zużycie paliwa – roczne (t)	21 000	25 000	54 000
6	Koszty paliwa – roczne (USD)	9,0 milionów	10,8 miliona	23,2 miliona
7	1% oszczędności (USD)	90 000	110 000	230 000
8	Wydzielanie gazu CO ₂ (ton / rocznie)	62 000	73 500	161 500
9	1% oszczędności (ton / rocznie)	624	734	1 600

Ceny paliwa – 430 USD /tm (2009).

Cały proces ochrony kadłuba przed porastaniem można przedstawić w postaci zespołu elementów wzajemnie ze sobą powiązanych:

1. **Środowisko.** Kadłub statku zanurzony w wodzie morskiej, która charakteryzuje się: zasoleniem, zmienną temperaturą, ruchami wody, zakwaszeniem, zawartością tlenu, organizmami żywymi żyjącymi w środowisku morskim, w większym stopniu narażony jest na obrosty. Wielkość obrastania kadłuba zależy więc od warunków środowiska morskiego obszarów pływania.
2. **Farby.** Pokrywają powierzchnię zanurzoną kadłuba: skład chemiczny, okres gwarancji, wytrzymałość na bodźce mechaniczne, jakość przylegania do powierzchni malowanej, toksyczność, wpływ przenikania składników farby na środowisko.
3. **Zastosowanie.** Jako sposób zmniejszania oporów kadłuba w ruchu.
4. **Rodzaj materiału poszycia kadłuba.** Stal, drewno, kompozyty, przeznaczenie statku.

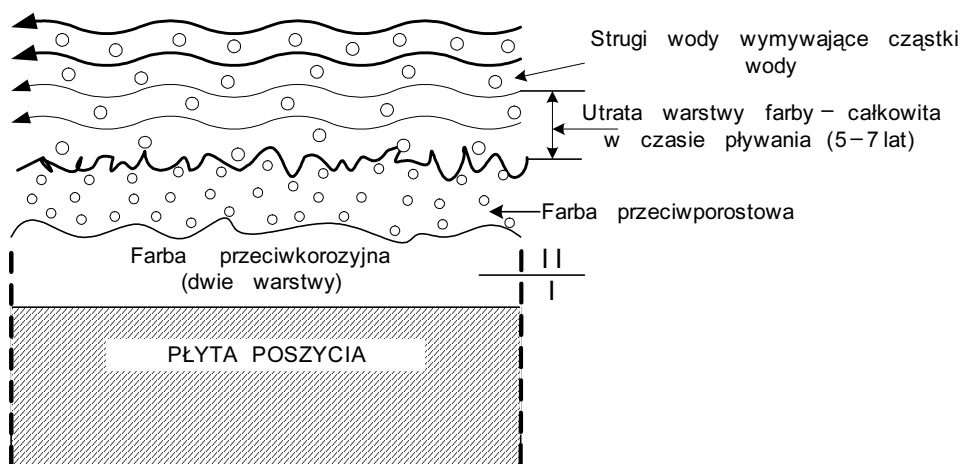


Rys. 7. Kluczowe elementy tworzące system ochrony kadłuba w wodzie morskiej [4]

Fig. 7. Key parameters forming the ship antifouling coating system in sea water

Wolne biocydy zawarte w farbach silikonowych, uwalniane z malowanej powierzchni podwodnej kadłuba, pozwalają na zachowanie przez dłuższy okres śliskiej powierzchni, o niskiej wartości oporności, bez możliwości przylegania żywych organizmów. Na tych statkach, gdzie zastosowano ten gatunek farb, wykazano około 4% oszczędności zużycia paliwa oraz znaczne zmniejszenie emisji gazów [17].

Od roku 2007 używa się farb fluoropolimerowych.



Rys. 8. Mechanizm działania farb poślizgowych – wyzwajające cząstki farby w czasie pływania (samoszlifowanie)

Fig. 8. Schematic of action of the realizing coating paint system by soluble the elements of paint during operation

Źródło: opracowanie własne na podstawie [19].

5. WARUNKI, JAKIE POWINIEN SPEŁNIAĆ DOBRY SYSTEM OCHRONY KADŁUBA PRZED PORASTANIEM [3]

- I. Cechy, jakimi powinny charakteryzować się farby przeciwporostowe, używane do malowania podwodnej części kadłuba, są następujące:
 1. Przeciwkorozyjność.
 2. Przeciwporostowość.
 3. Tolerowanie przez środowisko morskie.
 4. Ekonomiczność w zastosowaniu.
 5. Długi okres trwałości.
 6. Łatwe wiązanie się z podkładem (materiałem).
 7. Odporność na biodegradację, erozję.
 8. Obojętność na zmieniające się warunki pływania.
 9. Zachowanie gładkości powierzchni.
- II. Cechy niepożądane:
 1. Drogie w stosowaniu.
 2. Toksyczność.
 3. Niestabilny skład chemiczny.

6. PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE FARB

1. Farba pod nazwą *Tin-Tree* SPC jest najbardziej popularną i najczęściej używaną farbą do pokrywania kadłubów dla ochrony przed porostami.
2. Farba *Tin-Tree* może zmniejszyć okres ochronny do poniżej 5 lat.
3. Farby, z których wydzielają się biocydy, są zakazane w wielu portach świata.
4. Farby na bazie tlenku miedzi są szkodliwe dla środowiska i zakazane w niektórych portach na świecie.
5. Fluoropolimery jako baza farb przeciwporostowych dają dobre rezultaty ochronne.
6. Farby dobrego gatunku podnoszą koszty, jednak ich stosowanie może w efekcie przynosić zyski w procesie eksploatacji statku.
7. Obecnie najważniejszym problemem jest ochrona środowiska morskiego poprzez uniemożliwianie przenoszenia na kadłubach statków egzotycznych porostów i organizmów żywych do innych portów na świecie [16].

WNIOSKI

1. Podstawą efektów ekonomicznych eksploatacji statku jest wykorzystanie innowacji technologicznych w budownictwie nowych (kadłubów) statków.
2. Należy zwiększać efektywność napędu statku poprzez zmniejszanie oporów kadłuba, wykorzystując dostępne metody pomiarowe.

3. Udoskonalać współdziałanie kadłuba statku z systemem napędowo-sterowym.
4. Przeprowadzać kontrolę stanu gładkości kadłuba.
5. Dokonywać optymalizacji zużycia paliwa ze względu na stan gładkości kadłuba.
6. Analizować opłacalność okresowego czyszczenia śruby napędowej i części podwodnej kadłuba w świetle zmniejszenia oporów, a tym samym zużycia paliwa oraz emisji gazów.
7. Stosować wypróbowane, skuteczne i nietoksyczne farby przeciwporostowe po analizie opłacalności eksploatacyjnej.
8. Określić rejony (porty), w których występują niedogodne warunki postoj statku ze względu na zwiększone ryzyko obrostu kadłuba przez organizmy żywe i roślinne żyjące w wodzie na tych obszarach.

LITERATURA

1. *Additional Class Notation SEEMP*, July 2012, Rule No. 586 DT ROOE, www.veristar.com.
2. *Advanced composite sandwich steel structure*, Public Project, Summary 2/2000, www.sandwichbalport.com.
3. Anderson C., *Protection of Ship Lectures*, www.research.ncl.ac.uk.
4. Chambers L.D. et al., *Modern approaches to marine antifouling coatings*, *Surface Coating Technology* 201, 5, 2006, p. 3649.
5. Eefsen T., *IKT.1 Transport of Logistic. Team A4*, Vejle, Denmark, September 2009.
6. Kane D., *Hull and Propeller Performance Monitoring*, SNAME, February 2010.
7. *New benchmark to prove coating performance. Ship Performance*, January 2012, www.international-marine.com.
8. *Reispoulos Arh. Germanischer Lloyd Future Ships: Efficient and Environmental friendly*, Hamburg 2009.
9. RINA, Technical Meeting, June 3, 2009, www.rina.org.uk.
10. RINA 2010, The Royal Institute of Naval Architects, Technical Meeting, October 2010.
11. San D., Pathy Ch.D., *Development of ship weather – routing algorithm for specific application in North Indian Ocean region*, 2010, www.buet.ac.bd/name/martel.
12. Schleich W., Steinkomp K., *Biofouling Resistance of Cupronickel-Basics and Experience*, www.copper.org/application/cuni/text_biofouling_resist_cuni.htm.
13. Sogishara N. et al, *Verification of Calculation Method on Ship Performance by Onboard Measurements*, ISODE 2010, Beyging, China, June 20, 2010, www.isopec.org/publication/proceedings/.
14. *Sustaining hull/prop performance*, www.ship-efficiency.org.
15. Tayland M., *An Overview: Effect of Roughness and Coating on Ship Resistance*, Istanbul, May 2010.
16. TBT – *Free Anti-fouling Strategies*, www.terlin.org/teri-wt/projects/goa/nsdre.
17. Walker J., *Benefits of Foul Release Coatings*, Conference on Shipbuilding Technology, ISST 2007, Osaka 2007.
18. Wiltcher J., *The Effect of Biocide Free Release Systems on Vessel Performance*, www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf.
19. www.terlin.org/teri-wt/projects/goa/nsdre.

TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL METHODS TO REDUCING SHIP HULL RESISTANCE DUE TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION ON SEA GOING SHIPS

Summary

The paper deals with methods of ship hull construction due to reduce the fuel consumption. The principle of the ship resistance in fouling on speed reduction, power increase and emission of GHG has been discussed. Additionally the ship speed reduction due to hull fouling and its antifouling protection has been shown.

Keywords: hull resistance, energy reduction on board the ship.