

BIULETYN TECHNIKI JACHTOWEJ



CREATOR OF BOAT SYSTEMS

NR 2/2024 (19) ISSN 2657-8328 WWW.VETUS.COM

Niedomagania i uszkodzenia napędów

PolBoat Yachting Festival 2024:
innowacje i luksus na wodach Gdyni

Wywiad z Pawłem Iwanickim, szefem
sprzedaży ds. Marine w firmie Tezana

Sukces I-go Sympozjum
Techniki Motorowodnej
na Politechnice
Poznańskiej

Połysk kadłuba na cały sezon
Składowanie części
i materiałów sztucznych

Karaiby:
Saint Kitts
i Nevis

Niedomagania i uszkodzenia napędów

Napęd jachtu, w zależności od typu i wielkości jachtu (łodzi), może być napędem wbudowanym lub zaburtowym, nazywanym popularnie silnikiem przyczepnym. Napędy wbudowane, inaczej: stacjonarne i związane z nimi urządzenia pomocnicze, sterujące, zbiorniki paliwa i inne wymagają odpowiednich pomieszczeń do ich zabudowy. Pomieszczenia napędów o małych mocach silników do ok. 100 KM są niewielkie i z małą liczbą rozmaitych dodatkowych elementów. Napędy z silnikami dużych i wielkich mocy znajdują się w pomieszczeniach nazywanych maszynowniami lub siłowniami [1, 2]. Widok niektórych napędów wbudowanych i zaburtowych pokazano na rysunku 1, zaś ich zabudowę, w tym duże pomieszczenia, czyli maszynownie nazywane siłowniami – na rysunku 2.

Niezawodność napędu, czyli działanie bez niedomagań i uszkodzeń, jest jednym z podstawowych warunków bezpiecznej żeglugi każdego jachtu.

Wyjaśnijmy na wstępie znaczenie słów „niedomaganie” i „uszkodzenie”.

Niedomaganie to zaburzenie w funkcjonowaniu jakiegoś elementu napędu, na podobieństwo medyczne – chorowanie. Stan taki na ogół możliwy jest do usunięcia w czasie żeglugi.

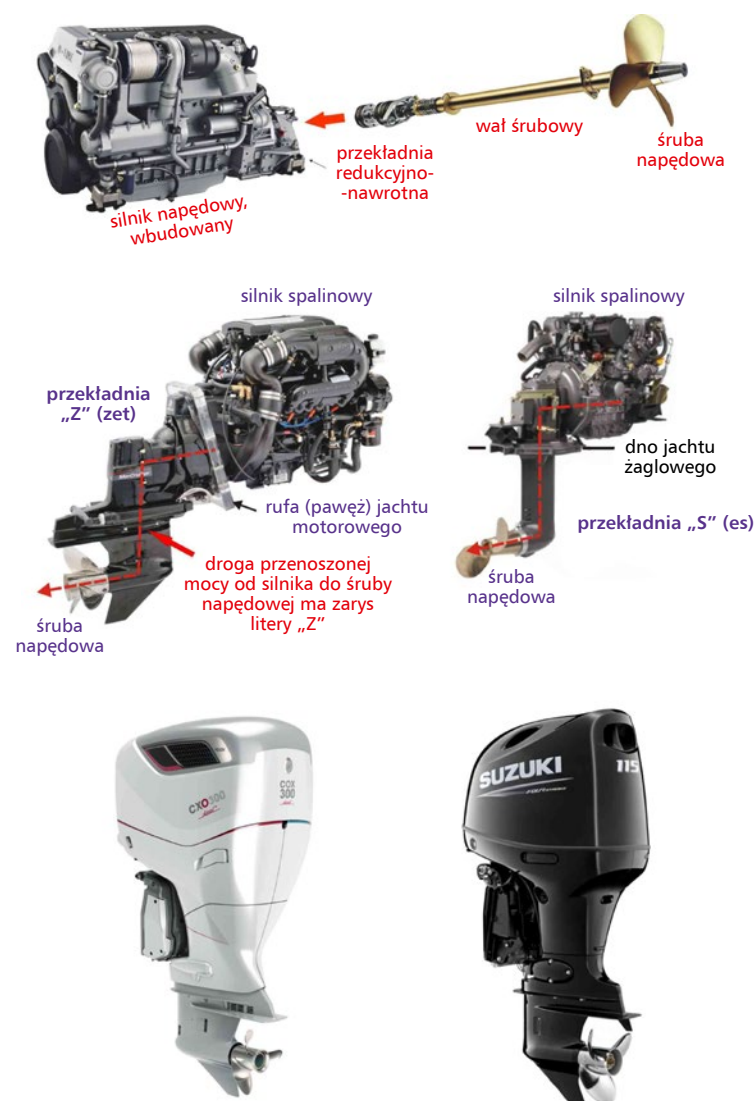
Uszkodzenie elementu napędu to stan jego niezdatności do pracy. Element taki wymaga zawsze naprawy lub wymiany na nowy. Ten stan określany jest często słowem awaria.

Warto pamiętać, że regularnie przeprowadzane kontrolne badania profilaktyczne napędu przez autoryzowany serwis bądź kompetentnego mechanika, gdy nie korzysta się z takiego serwisu, w znacznym stopniu przyczyniają się do zwiększenia niezawodności napędu.

Z jakimi więc niedomaganiem napędu możemy mieć do czynienia w czasie żeglugi? Otóż może się zdarzyć, że silnik zaczyna zdawać obroty, czyli powoli lub nagle zmniejsza prędkość obrotową, bądź jego praca staje się nierównomierna, a w najgorszym wypadku przestaje pracować i nie daje się ponownie uruchomić. Pół biedy, jeśli dzieje się to z dala od portu, tragicznie wręcz, jeśli na krótko przed wejściem lub w wejściu do portu, i to w trudnych warunkach pogodowych, a jacht

nie posiada zapasowego silnika pomocniczego. Jakie mogą być przyczyny takiego niedomagania? Bardzo różne, a mianowicie:

- brak paliwa, zapowietrzenie układu wtryskowego, zanieczyszczone filtry lub przewody paliwowe na skutek brudnego i zawodnionego paliwa,



Rys. 1. Niektóre napędy wbudowane i zaburtowe [2,4,5]



Rys. 2. Widoki pomieszczeń różnej wielkości napędów [1,2,3]

- zatkane filtry zaburtowej wody chłodzącej lub uszkodzenie wirnika pompy wody; wówczas automatka, jeśli taka istnieje, wyłącza silnik,
- zbyt niski stan oleju smarującego, zatkany filtr oleju, spadek ciśnienia oleju; wówczas również automatka wyłącza silnik,
- niedrożny system odpowietrzania zbiornika paliwa, niedrożny filtr pochłaniacza oparów paliwa,
- zablokowanie śruby napędowej przez nawinięcie na nią pływającej liny lub sieci,
- rozładowany akumulator (na skutek niesprawności alternatora), zasilający układ zapłonowy w silniku benzynowym zaburtowym,
- niesprawność nowoczesnych, elektronicznych układów zasilania paliwem i sterowania silnikiem.

Wiele z wymienionych niedomagań daje się usunąć w morzu, jeśli na pokładzie znajduje się osoba posiadająca wiedzę i umiejętności z zakresu mechaniki silnikowej. W tym miejscu, biorąc pod uwagę rozmaite wypadki morskie, właśnie z powodu niedomagania silnika, gdy np. silnik zgasł nagle i nie dał się ponownie uruchomić, pojawia się pewna refleksja: program szkoleń żeglarskich powinien zawierać szkolenie z zakresu napędów jachtowych, podobnie jak odbywają się kursy z zakresu radiooperatora krótkiego zasięgu SRC.

Poza wymienionymi przyczynami najbardziej niebezpiecznego niedomagania, jakim jest zatrzymanie się silnika, mogą być oczywiście inne, pozornie drobne usterki, szczególnie mocno zelektronizowanych napędów. Warto również zdawać sobie sprawę z tego, że czasem niedomagania pracy silnika mogą być związane z uszkodzeniem jakiegoś elementu silnika.

Przejdźmy więc do uszkodzeń elementów napędów. W ich eksploatacji zdarzają się uszkodzenia zarówno silników spalinowych, jak i przekładni, linii wałów i pędników. Najczęściej powstają uszkodzenia, których przyczyną jest niewłaściwa eksploatacja, czyli wynikają głównie z zaniedbania wykonania pewnych bieżących czy okresowych czynności. Przyczyną uszkodzeń może być również nieprawidłowo przeprowadzona naprawa jakiegoś zespołu napędowego, podczas której na przykład użyto części wykonanych niezgodnie

z dokumentacją lub wykonano i zmontowano elementy ze zbyt małymi lub dużymi luzami, bądź też przeprowadzono niewłaściwie montaż zespołu. Natomiast prawdopodobieństwo powstania uszkodzeń, będących wynikiem błędów produkcji bądź wad materiałowych jest bardzo małe. Trzeba tu bowiem wziąć pod uwagę fakt, że napęd, zanim ukaże się na rynku (w eksploatacji), przechodzi u producenta badania, w wyniku których usunięte zostają ewentualne błędy.

Spotykane w praktyce uszkodzenia polegają najczęściej na zniszczeniu elementów wskutek ich zatarcia, przepalenia, pęknięcia, wyłamania, zgięcia czy też ubytków materiałowych na skutek działania korozji lub kawitacji. Większość uszkodzeń dotyczy przede wszystkim silników spalinowych. Dlatego tym uszkodzeniom poświęca się dalej najwięcej uwagi. Istnieją rozmaite przyczyny uszkodzeń, najczęściej jednak główną przyczyną jest nadmierny wzrost temperatury elementów silnika, spowodowany niedostatecznym chłodzeniem bądź niedostatecznym smarowaniem lub ich brakiem. To powoduje z kolei zacieranie się współpracujących ze sobą elementów, ich pękanie, a także wytopienia materiału, zwłaszcza, gdy temperatura towarzysząca zatarciu jest wyższa od temperatury topliwości materiału, z którego wykonany jest dany element.

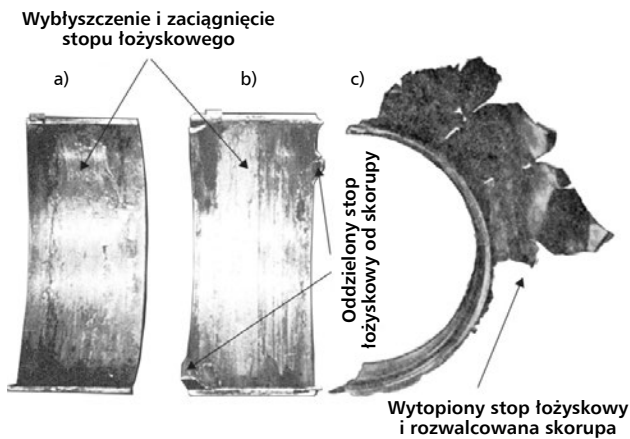
Uszkodzeniom mogą więc ulec następujące elementy silnika:

- tłok w swej części pierścieniowej i prowadzącej,
- pierścienie tłokowe,
- sworzeń tłokowy w piasku i tulei łba korbowodou,
- czopy główne i korbowodowe wału korbowego,
- panewki główne i korbowodowe,
- zawory,
- czopy i panewki wału rozrządu,
- popychacze, dźwignie zaworowe, iglice rozpylaczy i inne.

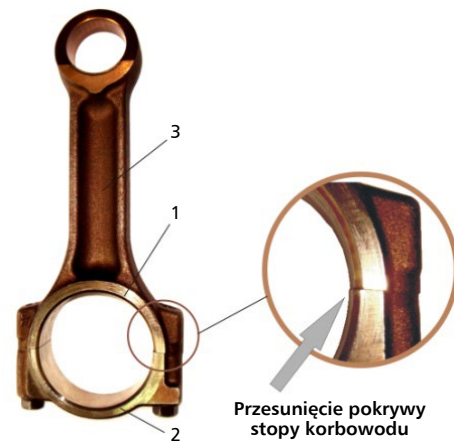
Na rysunku 3 widoczny jest tłok silnika Diesla całkowicie zatarty w swej części pierścieniowej i prowadzącej. Przyczyną zatarcia było niedostateczne chłodzenie spowodowane wadliwym działaniem układu chłodzenia silnika. Tłok pochodzi z silnika niedoładowanego. Takie uszkodzenie może również nastąpić na skutek niedopatrzania ze strony obsługi silnika, na przykład w wyniku uruchomienia i pracy silnika bez wody w jego instalacji chłodzącej. Podobne w skutkach mogą być



Rys. 3. Całkowicie zatarty tłok na skutek nadmiernego obciążenia cieplnego [6]



Rys. 4. Uszkodzone panewki wału korbowego a – panewka z zaciągniętym stopem łożyskowym, b – panewka z wytopionym stopem, c – panewka z rozwalcowaną skorupą [6]



Rys. 5. Uszkodzony korbowód na skutek obrócenia się panewki korbowodowej 1 – stopa korbowodu, 2 – pokrywa stopy, 3 – trzon korbowodu

uszkodzenia, będące następstwem niedostatecznego smarowania, spowodowanego uszkodzeniem pompy olejowej, zapchanego filtra oleju bądź zbyt niskiego poziomu oleju w misce olejowej silnika. Skutkiem niedostatecznego olejenia lub jego braku może być również uszkodzenie łożysk (panewek) wału korbowego (rys. 4).

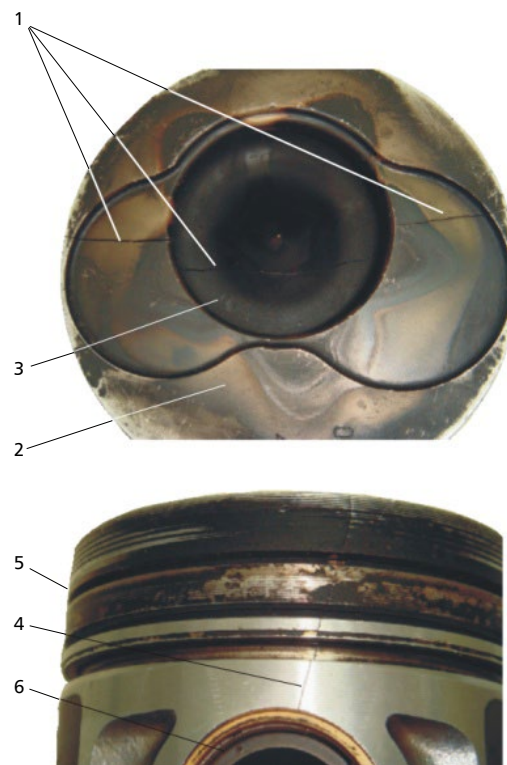
Na skutek przegrzania łożyska powstają zmiany w stopie łożyskowym, początkowo w postaci wyblyszczania stopu, szczególnie w miejscach, w których wydziela się bardzo dużo ciepła (rys. 4 a,b). W następnej fazie przegrzania stop łożyskowy traci spójność i zaczyna być zaciągany zgodnie z kierunkiem obrotu czopa wału korbowego. W konsekwencji może dojść do miejscowych wypłynięć stopu poza obrys skorupy łożyska, co widoczne jest na panewce b). Dalsza praca takich łożysk może doprowadzić do bardzo silnego uszkodzenia polegającego na wytopieniu warstwy stopu łożyskowego i rozwalcowania stalowego podłoża (skorupy) panewki (rys. 4c).

Czop korbowy współpracujący z tą panewką uległ również silnemu zatarciu, a w niektórych miejscach nastąpiło zgrzanie materiału czopa i stalowego podłoża panewki. Wytopienia takie są następstwem zatarcia i występują, gdy temperatura w warstwie łożyska wzrośnie powyżej temperatury topności stopu. Oprócz niedostatecznego olejenia, podobne zatarcie i wzrost temperatury spowodować może nieodpowiedni luz między panewką a czopem. Może się zdarzyć, że zacie-rająca się panewka, na przykład korbowodowa, obróci się w stopie korbowodu, pociągając za sobą jej odkształcenie. Taki przypadek widoczny jest na rysunku 5 przedstawiającym korbowód z tak zwaną rozrywaną stopą, której pokrywa po odkształceniu nie pasuje do górnej części stopy znajdującej się w trzonie korbowodu.

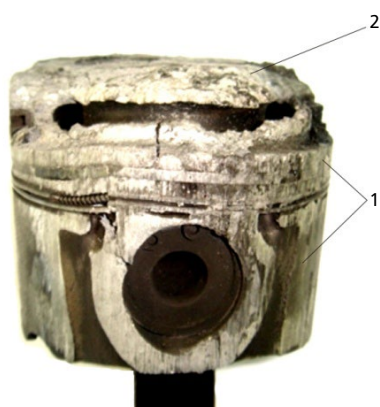
Taki korbowód nie jest możliwy do naprawy. Zwrócono uwagę, że jest to korbowód z tak zwaną rozrywaną stopą. Dolna część stopy jest bowiem w procesie produkcyjnym oddzielana od całego korbowodu za pomocą oderwania w specjalnym przyrządzie. Zatem po skręceniu z trzonem idealnie do niego pasuje. Taka

technologia wykonywania korbowodów jest powszechnie stosowana w nowoczesnych silnikach.

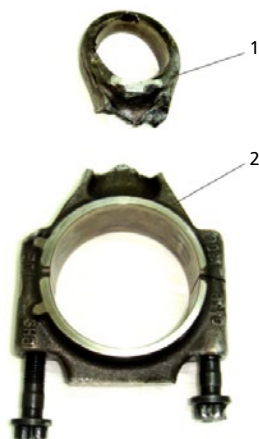
Charakterystycznym uszkodzeniem spotykanym w nowoczesnych silnikach Diesla wysoko doładowanych jest uszkodzenie tłoka, polegające na pęknięciach (1) denka (2), przebiegających przez komorę spalania (3) oraz pęknięciach (4) w części pierścieniowej (5), dochodzących do piast tłoka (6) (rys. 6).



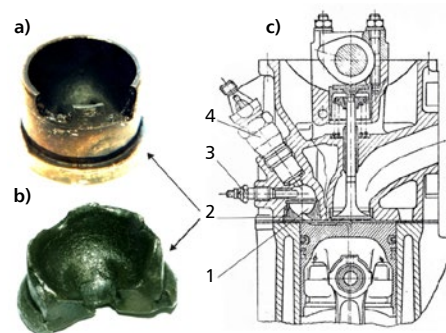
Rys. 6. Uszkodzenie denka i części pierścieniowej tłoka 1 – pęknięcie denka, 2 – denko, 3 – komora spalania, 4 – pęknięcie w części pierścieniowej, 5 – część pierścieniowa, 6 – piasta z widoczną tuleją łożyskową i sworzniem tłokowym



Rys. 7. Zatarany i stopiony tłok
1 – zatarcie w części nośnej i pierścieniowej, 2 – stopienie części pierścieniowej i denka



Rys. 8. Oderwane łeb i stopa korbowodu
1 – łeb, 2 – stopa



Rys. 9. Uszkodzone wkładki komory wirowej a – wkładka z częściowo wypaloną krawędzią, b – wkładka z całkowicie wypaloną krawędzią, c – fragment przekroju silnika, pokazujący umiejscowienie wkładki komory wirowej, 1 – komora wirowa, 2 – wkładka komory wirowej, 3 – świeca żarowa do podgrzewu komory przed rozruchem silnika, 4 – wtryskiwacz z rozpylaczem czopikowym

Przyczyną tego jest również wzrost temperatury tłoka, ale na skutek niedostatecznego chłodzenia denka olejem. Niedostateczne chłodzenie spowodowane zostało niedrożną dyszą natryskową doładowanego silnika. Podobnie może to nastąpić na skutek zbyt małego jej wydatku, gdy za niski jest poziom oleju w misce olejowej silnika. Dalsza eksploatacja silnika z takim tłokiem może doprowadzić do jego zatarcia w części nośnej (1) i pierścieniowej oraz stopienia części pierścieniowej i denka (2) (rys. 7).

Uszkodzenia tłoków mogą powstać też na skutek tzw. lejącego wtryskiwacza, a więc przy nieprawidłowo działającej aparaturze wtryskowej. Lejący wtryskiwacz, czyli taki, z którego wypływają krople lub nawet strugi nierozpylonego paliwa, powoduje zakłócenia w przebiegu spalania, a towarzyszący temu zjawisku miejscowy wzrost temperatury w komorze spalania pociąga za sobą przegrzanie i nadtopienie materiału tłoka ze skutkami podobnymi jak na rysunku 7. Całkowitemu zatarciu tłoka może towarzyszyć także uszkodzenie korbowodu, często w postaci połamanego korbowodu. Taki przypadek widoczny jest na rysunku 8, pokazującym oderwane i uszkodzone łeb oraz stopę korbowodu, trzon natomiast został połamany na drobne kawałki. Połamanie korbowodu może zdarzyć się również, gdy do cylindra silnika dostanie się woda.

Znane są również przypadki, gdy na skutek długotrwałego wzrostu temperatury w przestrzeni spalania, oprócz uszkodzenia tłoka, następuje także uszkodzenie tulei cylindrowej.

Przykładem uszkodzenia innego elementu silnika, tym razem silnika z wtryskiem pośrednim, jest komora wirowa, a ściślej jej stalowa wkładka (rys. 9). Na rysunku tym widoczne są uszkodzone dwie wkładki, które powstały na skutek nadmiernego wzrostu temperatury.

Wkładki te, wykonane ze stali, gorzej chłodzone od górnej części komory wirowej znajdującej się w odlewie ze stopu lekkiego, z założenia są gorętsze, żeby wpływać na skrócenie okresu spalania. Jednak nadmierny wzrost temperatury może spowodować ich uszkodzenie. Uszkodzenie pokazane na rysunku 9a w postaci wypalonych krawędzi to wynik nadmiernego wzrostu temperatury na skutek źle rozpylanego paliwa przez wtryskiwacz, powodującego w tych miejscach zbyt dużą koncentrację ciepła. Inny przypadek (rys. 9b) przedstawia jeszcze bardziej wypaloną wkładkę. Tym razem przyczyną było zatankowanie paliwa (oleju napędowego) pochodzącego z nieznanego źródła i, jak się okazało, posiadającego niedopuszczalny dodatek powodujący wzrost maksymalnej temperatury spalania.

Uszkodzeniom ulegają także elementy i zespoły aparatury wtryskowej. Wśród nich mogą to być układy tłoczące, wtryskiwacze i inne. Wprawdzie rzadkim, ale zdarzającym się uszkodzeniem, jak wynika z rysunku 10, jest „zniknięcie” końca rozpylacza nazywanego



Rys. 10. Uszkodzenie rozpylacza w układzie wtryskowym Common Rail

studzienką. To zakończenie o niewielkiej średnicy wewnętrznej 1 mm i ściance o grubości około 0,8 mm jest bardzo delikatne i obciążone cieplnie oraz mechanicznie na skutek wysokiego ciśnienia panującego w studzience podczas wtrysku paliwa.

W omawianym przypadku doszło do upalenia studzienki w wyniku nadmiernego wzrostu temperatury, który nastąpił w silniku na skutek przedostawania się oleju smarującego do komory spalania silnika przy nieuszczelnności sprężarki doładowującej. W tych warunkach silnik zaczął zwiększać prędkość obrotową ponad znamionową (rozbieganie silnika) na skutek spalania oleju smarującego. Przy niewielkiej dawce wtrysku, więc i spadku chłodzenia rozpylacza paliwem nastąpiło upalenie studzienki. Taki efekt nazywany jest czasami odstrzeleniem studzienki i wygląda w skutkach podobnie, lecz przyczyną jest nadmierny wzrost ciśnienia w studzience, np. przy niedrożnych otworach wtryskowych.

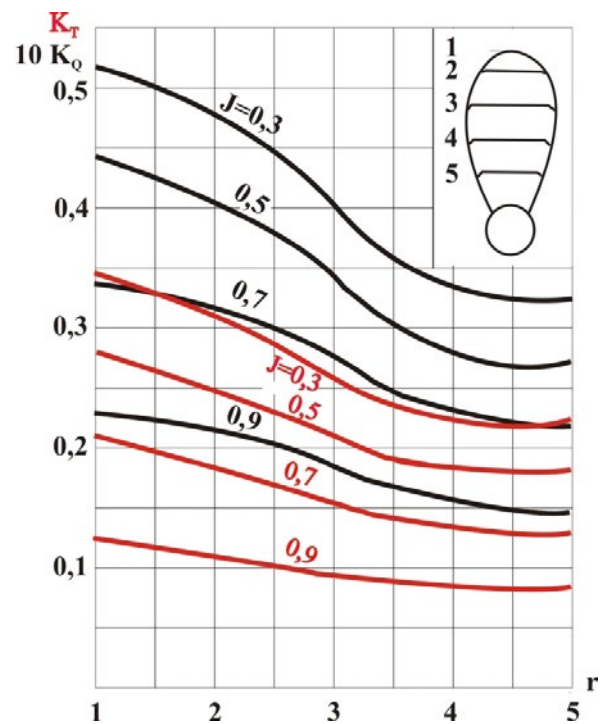
Poza przytoczonymi przykładami spotyka się rozmaite uszkodzenia na przykład kolektorów wydechowych, pomp płynów chłodzących, rurociągów, sprzęgieł, kół zębatych przekładni, łożysk linii wałów, pędników i innych.

Na zakończenie omawiania uszkodzeń warto poruszyć jeszcze zagadnienie uszkodzenia śruby napędowej w postaci częściowego lub całkowitego odłamania skrzydła lub skrzydeł. Uszkodzenia takie powstają zwykle podczas nieostrożnego manewrowania w portach lub przystaniach, w czasie wejścia czy zejścia z mielizny, a niekiedy nawet w trakcie normalnej żeglugi. Śruba stała ze zmniejszoną powierzchnią skrzydeł wskutek ułamania zmienia swoje parametry geometryczne. W konsekwencji tego następuje zmniejszenie współczynnika momentu, a więc przesunięcie charakterystyki śrubowej w prawo. Silnik współpracujący z ułamaną śrubą zwiększa prędkość obrotową, przy czym bieg jego jest bardzo nierównomierny. Uszkodzoną śrubę trzeba wymienić na nową ze względu na zmianę jej charakterystyki i utratę wyważenia. Pewnych danych o charakterystykach śrub może dostarczyć rysunek 11 [7].

Podane są na nim wyniki uzyskane w badaniach modelowych śruby czteroskrzydłowej, której dwa przeciwległe skrzydła były systematycznie obcinane. Na wykresie widoczne jest zmniejszenie się współczynników naporu i momentu w miarę obcinania skrzydeł. Całkowite odjęcie dwóch skrzydeł powoduje zmniejszenie współczynnika naporu od 16 do 32%, zaś współczynnika momentu od 35 do 55%.

Przedstawione przykłady nie wyczerpują bynajmniej ogromnej liczby spotykanych uszkodzeń. W wystarczającym jednak stopniu obrazują ich specyfikę. Uwzględniając zatem powyższe, należy dołożyć wszelkich starań, aby w czasie eksploatacji napędów nie zaniedbać jakichkolwiek czynności obsługi silnika i pozostałych mechanizmów, wynikających z dobrej praktyki morskiej i zaleceń wytwórcy, nawet jeśli niektóre z nich wydają się mało znaczące. □

dr inż. Krzysztof Zbierski



Rys. 11. Wpływ odjęcia części skrzydła na charakterystyki śruby napędowej

Literatura:

- [1] Zbierski K.: Dieslowskie napędy jachtów. Wyd. Studio M, Łódź 2012.
- [2] Zbierski K. Napędy (silniki) mega jachtów. Biuletyn Techniki Jachtowej, nr 1/2024
- [3] <https://brokosservice.com/oferta/uklady-napedowe-jachtow-i-statkow/>
- [4] <https://suzuki.pl/assets/upload/908d04f8e2fdb834bf1227b25d870551055c0801.800.jpg>
- [5] <https://www.vetus.com>
- [6] Wilczkowski A.: Awary silników spalinowych. Uszkodzenia w układach korbowych. Wydawnictwo MiW. Łódź 1996.
- [7] Poradnik Okrętowca. Tom II Teoria okrętu. Wydawnictwo Morskie, Gdynia 1960.