

THE DEVELOPMENT OF SPECIALIZED SHIP'S PROPULSION SYSTEMS WITH THE AIM OF IMPROVING THEIR MANOEUVRING ABILITY IN THE ASPECT OF NAVIGATION SAFETY

Jerzy Herdzik

Gdynia Maritime University
Morska 81/87, 81-226 Gdynia, Poland
tel.: +48 58 6901430, fax +48 58 6901399
georgher@am.gdynia.pl

Abstract

The paper presents the development of specialized ship's propulsion system during last twenty years. It was shown some applied solutions of propulsion systems and what aims were achieved: improving of manoeuvring ability, the achievement of propulsion system's high efficiency in very large range from the idling to full load and the increasing of navigation safety. Ship propulsion systems are more often applied, especially for ships which operate on the sea in special ways and need: ship positioning, very high manoeuvring abilities, other ships services, self manoeuvring even for cruise ships. These propulsion systems are not needed applying the steering gears. These functions: steering and propulsion do thrusters, which in these cases are built in twin systems. It ensures possibilities of ship's propulsion (motion) keeping, even in case of failure in one propulsion system. For reason of sea traffic increasing, especially on sea area, when this traffic needs co-ordination (VTS stations), ship equipped in modern propulsion system should ensure greater navigation safety for herself and should decrease collision risk for other ships situated on this sea area. The usage high-performance and efficiency active powerplants is a key for the enlargement of the safety of sea shipping.

Keywords: *specialized ship, ship's propulsion system, thruster, manoeuvring ability, navigation safety*

ROZWÓJ UKŁADÓW NAPĘDOWYCH SPECJALISTYCZNYCH STATKÓW W CELU PODNIESIENIA ICH ZDOLNOŚCI MANEWROWYCH W ASPEKCIE BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI

Streszczenie

W artykule przedstawiono rozwój układów napędowych specjalistycznych statków w okresie ostatnich dwudziestu lat. Podano stosowane rozwiązania oraz jakie cele udało się osiągnąć: zwiększenie zdolności manewrowych jednostek, uzyskanie wysokiej sprawności układów napędowych w szerokim zakresie obciążeń od biegu jałowego do obciążenia nominalnego oraz podniesienie bezpieczeństwa żeglugi. Układy napędowe z nowoczesnymi pędnikami są coraz powszechniej stosowane, szczególnie dla statków, które uprawiają nietypową żeglugę i wymagają: pozycjonowania jednostki, wysokich zdolności manewrowych, obsługi innych statków, samodzielnego manewrowania nawet w przypadku dużych statków pasażerskich. Układy te nie wymagają stosowania tradycyjnych maszyn sterowych. Funkcje sterowania i napędu jednostki spełniają pędniki, które z tego powodu budowane są minimum w układach podwójnych. W związku ze zwiększaniem się ruchu morskiego, szczególnie na akwenach, na których ruch ten wymaga koordynacji (stacji kierowania ruchem), statek posiadający nowoczesny układ napędowy będzie w stanie zapewnić bezpieczną żeglugę dla siebie i zmniejszyć zagrożenie kolizyjne w stosunku do wszystkich jednostek znajdujących się na danym akwenu. Stosowanie wysokosprawnych pędników aktywnych jest kluczem do zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi.

Słowa kluczowe: *statek specjalistyczny, układ napędowy, pędnik, zdolności manewrowe, bezpieczeństwo żeglugi*

1. Wstęp

W okresie ostatnich dwudziestu lat wzrosło zapotrzebowanie na statki specjalistyczne (AHTS, kablownce, rurowce, holowniki, statki pasażerskie), od których wymaga się zwiększonej manewrowości. Zasadniczo wymaga się podniesienia jej do takiego poziomu, który umożliwi im w pełni samodzielną pracę nawet w ciężkich warunkach morskich (np. AHTS) albo zwiększyć bezpieczeństwo żeglugi poprzez podniesienie zdolności manewrowych jednostek (holowników) mających zapewnić bezpieczne manewry portowo-redowe statków nieposiadających takich własności.

Zasadniczo należy spełnić dwa podstawowe warunki:

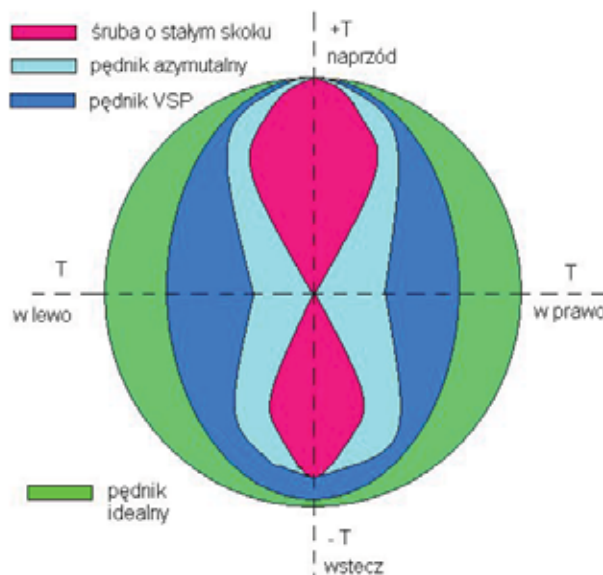
- zastosować układy napędowe zwiększające zdolności manewrowe;
- zapewnić niskie zużycie paliwa w bardzo szerokim zakresie obciążeń – od biegu jałowego do obciążenia nominalnego.

Podniesienie zdolności manewrowych pozwala zwiększyć bezpieczeństwo żeglugi, w tym bezpieczeństwo załóg tych statków oraz dokładność, prostotę i skuteczność wykonania zamierzonego manewru (np. zdolności do dynamicznego pozycjonowania statku dla kablownców czy utrzymania się w danym punkcie nad dnem morza dla jednostek wiertniczych).

Konieczność zwiększenia manewrowości wymógł rozwój układów napędowych, a wraz z nim bardziej powszechne ich stosowanie dla nowobudowanych jednostek [1].

2. Współczesne pędniki okrętowe

Idealny pędnik okrętowy winien umożliwić uzyskanie siły naporu mogącej działać w dowolnym kierunku w stosunku do osi głównej statku (rys.1).



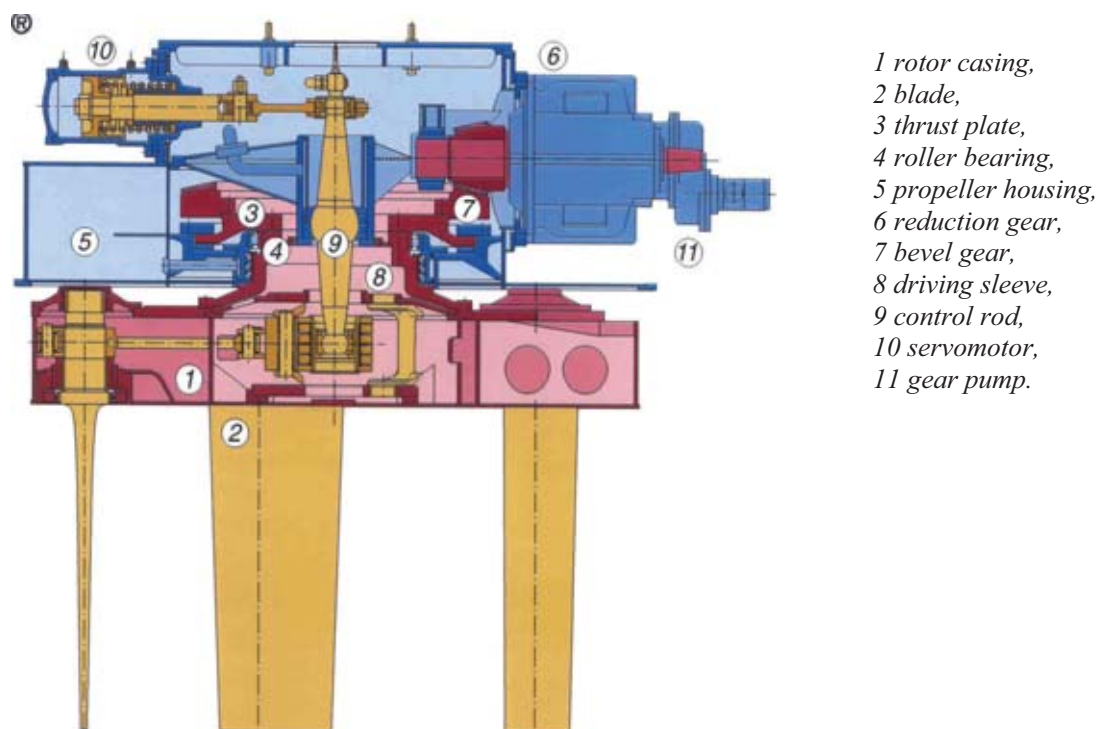
Rys. 1. Możliwości wytworzenia siły naporu w określonym kierunku przez pędniki okrętowe
 Fig. 1. Possibilities of driving force creating by marine propellers

Pędnik o idealnej charakterystyce nie został jeszcze zbudowany. Parametry zbliżone do ideału posiada pędnik Voitha-Schneidera (VSP) (rys.2), który jest w stanie osiągnąć w najsłabszym kierunku do 85% siły naporu realizowanej w osi głównej statku przy pracy naprzód [5].

Ma on jednak pewne wady, które ograniczają pole jego zastosowań:

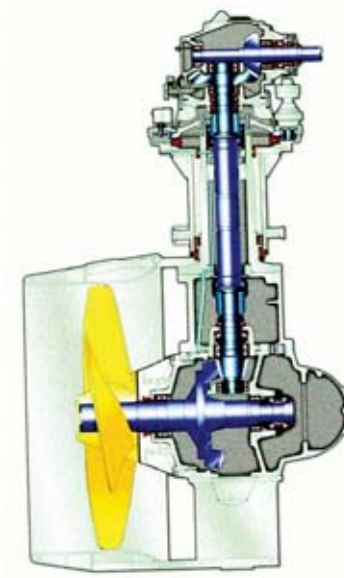
- jest drogi (największe nakłady inwestycyjne),
- zwiększa zanurzenie statku (o długość płetw lub wysokość płetwy stabilizacyjnej),

- wymaga konieczności stosowania osłon na pędnik oraz budowy płetwy stabilizacyjnej (biernego steru),
- zwiększa opór statku – parametr istotny przy większych prędkościach statku.



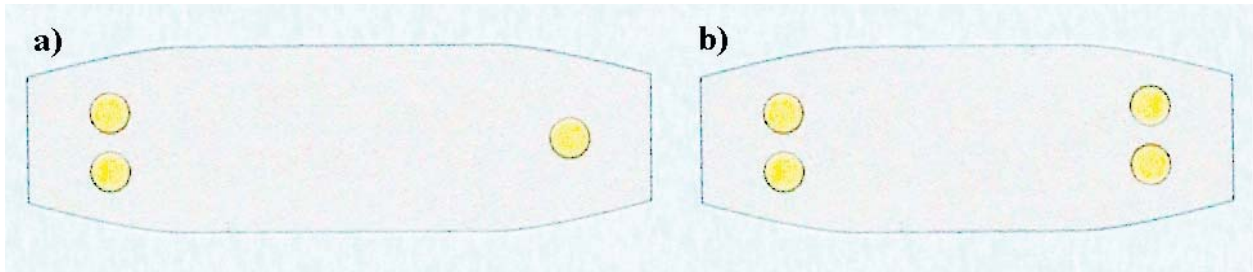
Rys. 2. Pędnik VSP typ GII
Fig. 2. Voith-Schneider Propeller type GII [5]

Kolejną grupą są pędniki azymutalne, budowane przez wielu producentów (KaMeWa, Schottel, Lips, Aquamaster, Wartsila- rys.3). Mogą one pełnić rolę napędu głównego lub pomocniczego zastępującego typowe stery strumieniowe, ale przy okazji mogą pełnić funkcje napędu awaryjnego. Typowym rozwiązaniem jest stosowanie 2 pędników tego typu, ale możliwe są bardziej rozbudowane rozwiązania z trzema i czterema pędnikami (rys.4), znacznie rzadziej spotyka się z większą liczbą.



Rys. 3. Pędnik azymutalny firmy Wartsila
Fig. 3. Wartsila azimuth thruster

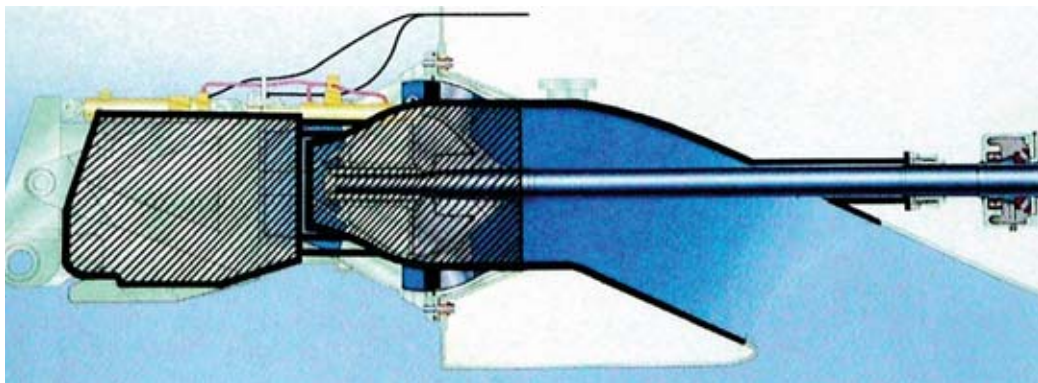
Rozwiązanie z pędnikami azymutalnymi umożliwia tworzenie rozbudowanych układów napędowych tworzących napęd główny, pomocniczy lub awaryjny. Ukształtowanie pędników nie zwiększa znacząco oporu statku w stosunku do napędu tradycyjną śrubą okrętową, ale umożliwia rezygnację z budowy maszyny sterowej, ponieważ funkcję tę pełnią pędniki (zwane niekiedy aktywnymi) [2,3].



Rys. 4. Układ napędowy z 3 i 4 pędnikami aktywnymi
 Fig. 4. Propulsion system with 3 and 4 thrusters

Odmianą tych pędników są układy z pędnikami gondolowymi (ang. azipod), które wyprowadzone są poza kadłub. Najczęściej przekazanie mocy do napędu tych pędników odbywa się silnikiem elektrycznym umieszczonym w gondoli. Możliwy jest też doprowadzenie mocy od silników spalinowych poprzez przekładnie kątowe [6].

Jednostki szybkie, pływające z prędkościami powyżej 30 węzłów (54 km/h) wyposażone są najczęściej w pędniki strugowodne (ang. waterjets) (rys. 5) [4]. Tradycyjne pędniki w tych warunkach mają ograniczone zastosowanie (spada ich sprawność, występuje zjawisko kawitacji, co znacząco ogranicza ich trwałość). Typowym rozwiązaniem jest układ napędowy z dwoma pędniami strugowodnymi. Dla jednostek, które mają poruszać się z niewielkimi (a nawet zerowymi) prędkościami ich możliwości manewrowe zmniejszają się.



Rys. 5. Pędnik strugowodny
 Fig. 5. Waterjet

W przypadku zastosowania regulowanych obrotowo dysz (zmiana kierunku strugi) zasadniczo nie ma problemów z samodzielnym manewrowaniem przy manewrach wejścia-wyjścia z portu.

3. Układy napędowe jednostek specjalistycznych

Układy napędowe jednostek specjalistycznych wymagają:

- możliwości wykonania zamierzonego manewru przy niekorzystnym silnym wietrze oraz dużym falowaniu (określonym górną granicą np. do stanu morza 8⁰B) – wymaga to odpowiedniej mocy silnika (-ów) głównego (-ów) rzędu 3-15 tys. kW oraz układu napędowego z pędnikami aktywnymi;

- pozycjonowania jednostki, czyli utrzymywania konkretnego położenia lub jego powolnej zmiany przy uzyskaniu zamierzonego kursu;
- uzyskiwania wymaganej siły uciągu mierzonej przy zerowej prędkości;
- uzyskiwania minimalnej prędkości przy samodzielnym ruchu;
- możliwości długotrwałej pracy na bardzo małych obciążeniach, przy których jednak występuje „oszczędne” zużycie paliwa.

Spełnienie jednocześnie ww. wymagań jest trudne, ale gdy uzgodni się rozwiązania kompromisowe, udaje się je zrealizować. Uzyskiwanie założonej siły uciągu wymaga doboru odpowiedniego typu i wielkości pędnika oraz odpowiedniej mocy silnika go napędzającego. Szacunkową zależność między mocą silnika, a wielkością siły uciągu przedstawia wzór [1]:

$$Z = 0,15 \div 0,3 \times N$$

gdzie:

Z – siła uciągu na uwięzi [kN];

N – moc silnika głównego [kW].

Wielkość współczynnika proporcjonalności zależy od typu pędnika, układu napędowego jedno- lub dwuwałowego. Obserwuje się wzrost tego współczynnika, gdy układ napędowy pracuje na obciążeniach częściowych. Przykładowo dla holownika z pędnikami aktywnymi o mocy nominalnej 3000 kW oczekuje się siły uciągu o wartości 450 kN, natomiast ten sam holownik przy obciążeniu silnika mocą 1000 kW uzyska siłę uciągu około 230-240 kN.

Położenie nacisku na uzyskiwanie dużego uciągu na uwięzi wymaga stosowania pędników, których sprawność przy prędkościach projektowych pływania jest mniejsza, co spowoduje uzyskiwanie mniejszych prędkości pływania w stosunku do pędników, które zaprojektowano na mniejszy uciąg, ale są sprawniejsze przy prędkościach powyżej 10 węzłów (około 18,5 km/h).

Możliwość (gotowość) wykonania manewru wymaga, aby pędniki były zasprzęglone z silnikami. Istnieją takie ustawienia, dzięki którym wypadkowa siła naporu od pędników wynosi zero, czyli jednostka zachowuje się neutralnie. Od tej pozycji wyjściowej (i podstawowej w przypadku zagrożenia lub wykonania nieprawidłowego manewru) można zróżnicować kierunki działania sił naporu oraz ich wielkość. W ten sposób powstaje siła wypadkowa, która umożliwi wykonanie zamierzonego manewru.

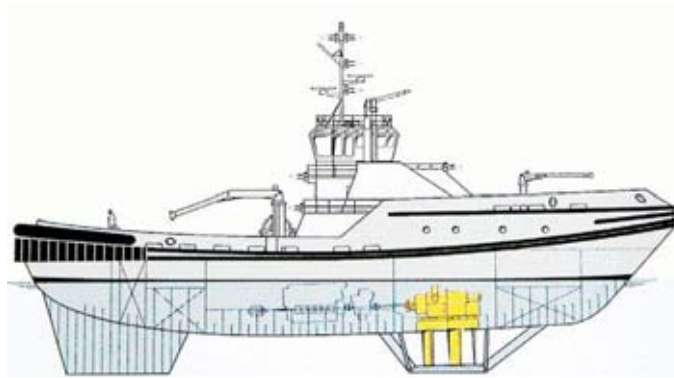
Układ napędowy jednostki umożliwiającej skuteczne i dokładne pozycjonowanie przedstawiono na rys.4b.

Z analizy oraz praktyki eksploatacyjnej wynika, że dopiero układ 4 niezależnych pędników zapewnia taki stan. Układy takie stosowane są m.in. na jednostkach wiertniczych (poszukiwanie złóż ropy i gazu), dla których wymaga się dynamicznego pozycjonowania z użyciem systemu GPS z dokładnością lepszą od 1 m nad określonym punktem dna morskiego (ze względu na ryzyko złamania wiertła).

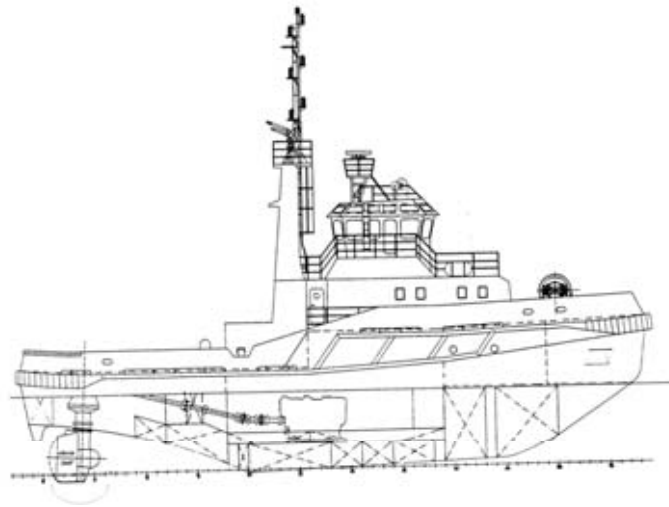
W celu skutecznego manewrowania (możliwość wykorzystania pełnej siły uciągu z minimum dwóch wybranych pędników) układ z 3 pędnikami (rys.4a) jest wzorcowy. Gorsze możliwości mają układy z 2 pędnikami, ale możliwości te bywają z reguły satysfakcjonujące dla operatora - są dwa prawie równoważne układy: z pędnikami na dziobie jednostki tzw. traktor (ang. tractor) (rys. 6) oraz z pędnikami na rufie tzw. pchacz (ang. pusher) (rys.7).

W pędnikach tych częściej stosowane są prostsze i tańsze układy ze śrubami o stałym skoku. Większe możliwości dają układy z pędnikami o nastawnym skoku oraz o regulowanej prędkości obrotowej śrub (poprzez np. sprzęgła hydrokinetyczne) – pozwala to na uzyskiwanie na pędniku prędkości obrotowej od zera do nominalnej, a zarazem umożliwia zmniejszenie obciążenia silników napędowych, co skutkuje zmniejszeniem zużycia paliwa.

Typowe stery strumieniowe nie są zasadniczo stosowane na tego typu jednostkach. Wymagają budowania w kadłubie tunelu poprzecznego oraz są skuteczne (przydatne) tylko przy niewielkich prędkościach jednostki do około 2-3 w (3,5-5,5 km/h).



Rys. 6. Holownik typu „traktor” z pędnikami VSP
Fig. 6. Tractor tug with VSP drive



Rys. 7. Holownik typu „pchacz” z pędnikami firmy Aquamaster
Fig. 7. Pusher tug with Aquamaster drive

4. Sposoby utrzymywania wysokiej sprawności układów napędowych

Wysoka sprawność układu napędowego wymaga odpowiedniego doboru wszystkich elementów tego układu tj.:

- silnika,
- przekładni,
- układu przekazania mocy,
- pędnika,

z których każdy winien zapewniać wysoką sprawność w każdym stanie eksploatacyjnym. Jednak to sprawność silnika i pędnika jest decydująca o sprawności układu napędowego. Ze względu na ryzyko niedopasowania elementów układu napędowego, ich dobór coraz częściej jest dokonywany przez producentów pędników lub silników, którzy proponują w projekcie wszystkie elementy układu napędowego. Ogranicza to znacząco wpływ stoczni, która staje się wykonawcą kadłuba, instalacji i fundamentów pod urządzenia. Za „serce” statku i jego automatykę odpowiada producent układu napędowego.

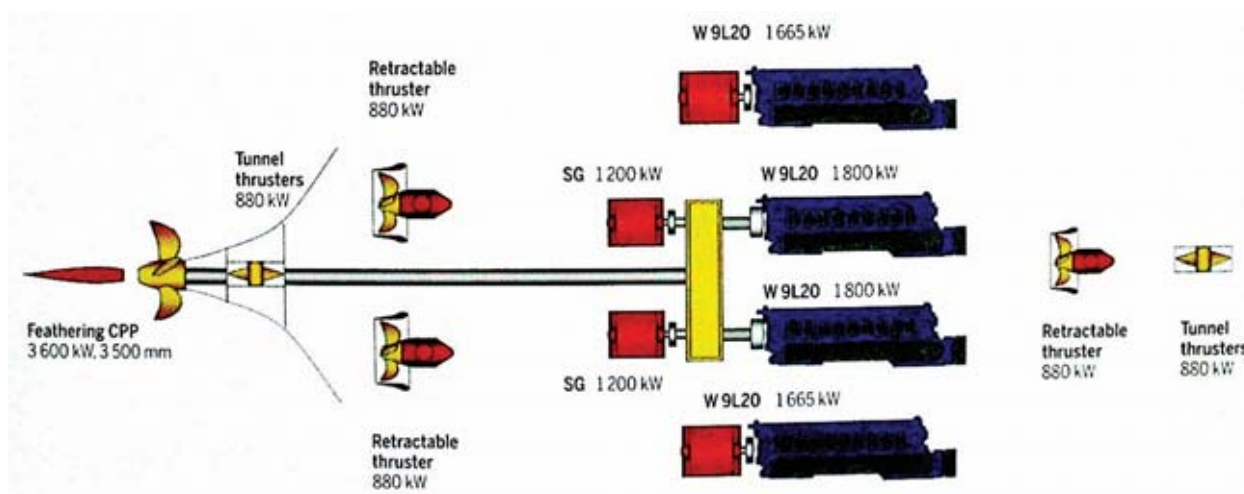
Silniki główne jednostek specjalistycznych pracują przy bardzo zróżnicowanych obciążeniach. Dla holowników portowo-redowych czas obciążenia powyżej 80% N_{nom} nie przekracza 5% czasu eksploatacji, natomiast czas przeznaczony na oczekiwanie, pozycjonowanie, manewrowanie – przekracza 50% przy obciążeniach poniżej 10% N_{nom} . Powoduje to konieczność pracy na paliwie lekkim (oleju napędowym), droższym paliwie, którego nie trzeba podgrzewać przed podaniem na

pompy wtryskowe. W celu zmniejszenia zużycia paliwa przez silniki główne, konieczne jest zmniejszenie obciążenia przez odbiorniki mocy (pędniki). Możliwe jest to poprzez okresowe wy- i zasprzęglanie, stosowanie sprzęgieł hydrokinetycznych lub silników o bardzo niskiej prędkości biegu jałowego. W przypadku stosowania pędników ze śrubami o nastawnym skoku – zmniejszeniu skoku śrub winna towarzyszyć odpowiednio zmniejszona prędkość obrotowa silników (optymalizacja ze względu na sprawność pędnika) [7].

W sposób pośredni wpływ na sprawność układu napędowego ma wiele innych czynników, jak:

- czysty, nieporośnięty kadłub,
- odpowiednie ustawienie pędnika w dyszy Korta,
- kształt dyszy Korta i odległość między powierzchnią dyszy a krawędzią skrzydła śruby (pędnika),
- zanurzenie jednostki,
- kierunek i siła wiatru, stan morza, oddziaływanie obcych strumieni wody,
- sposób przeprowadzenia manewru (odpowiednie ustawienie jednostki względem obsługiwanej umożliwia uzyskiwanie znacznie większych sił oddziaływania – około dwukrotnie większych od uciążu nominalnego – rys.9), z zachowaniem jednak zasad bezpieczeństwa manewrów – szarpnięcia stwarzają ryzyko zerwania liny holowniczej, dlatego winna mieć w miarę możliwości jak największą długość, w skrajnych przypadkach nawet 600-800 m.

Próba utrzymania wysokiej sprawności układu napędowego, a zarazem zwiększenia manewrowości oraz spełniania funkcji napędu awaryjnego są układy kombinowane z tradycyjnym napędem jako głównym oraz pomocniczym (pędniki chowane ang. retractable thrusters) pełniącym pozostałe dwie funkcje (rys.8) [2].



Rys. 8. Kombinowany układ napędowy typu CODED
Fig. 8. CODED propulsion system [2]

Spełnienie warunków wysokiej sprawności układu napędowego, jego niezawodności, a zarazem wysokiej manewrowości jest trudnym zadaniem. Rozwój nowoczesnych pędników aktywnych oraz obniżenie ich kosztów wytwarzania będzie sprzyjał tworzeniu początkowo układów kombinowanych (szczególnie dla dużych statków), natomiast będą one powoli wypierały tradycyjny napęd śrubą okrętową.

5. Uwagi końcowe

Wejście na rynek żeglugowy pędników aktywnych obserwuje się od kilkadziesiąt lat. Jednak w ostatnich dwudziestu nastąpiła ich ekspansja, związana z budową specjalistycznych jednostek,

dla których tradycyjny napęd okazał się nieefektywny. Zwiększenie zapotrzebowania na pędniki aktywne spowodowało konkurencję na rynku (coraz więcej producentów) oraz rozwój techniczny i technologiczny budowy pędników (np. nowe typy). Powstały propozycje nowych rozwiązań układów napędowych, w których pędniki aktywne są już nieodzownym elementem. Przewiduje się dynamiczny rozwój tego rynku. Można spodziewać się propozycji nowych rozwiązań np. pędników magnetohydrodynamicznych, które na razie są w fazie eksperymentalnej.

Kierunkiem poszukiwań jest układ napędowy statku, który zapewni dobre własności manewrowe przy prędkościach eksploatacyjnych oraz „bliskich zero”, wzrost prędkości eksploatacyjnych statku przy ograniczonym zużyciu paliwa (koszty paliwa przekraczają już 40% całkowitych kosztów eksploatacji statku) – stąd poszukiwania układów napędowych zapewniających wysoką sprawność.

Powszechne stosowanie pędników aktywnych spowoduje wzrost bezpieczeństwa żeglugi. Zjawisko to obserwuje się to już obecnie. „Lepsze wrogiem dobrego” okazuje się sprawdzać również na bardzo konserwatywnym rynku żeglugowym.

Literatura

- [1] Balcerski, A., Bocheński, D., *Układy technologiczne i energetyczne jednostek oceanotechnicznych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1998.
- [2] Levander, O., *New propulsion concept for supply vessels of the future*, Twentyfour7, Wartsila Quaterly Magazine No. 02 page 62-64, 2006.
- [3] Laheij, H., *Wartsila thrusters – the driving force behind dynamically positioned Offshore Applications*, Twentyfour7, Wartsila Quaterly Magazine No. 01, pp. 64-66, 2006.
- [4] Pakarinen, R., *Cool cat*, *Twenty four 7*, Wartsila Quaterly Magazine No. 03 page 60-61, 2006.
- [5] *Voith Water Tractors. The Hallmark of Safety*, Voith Publication No. n 2994 e.
- [6] Levander, O., *Cargo RoPax with Wing Pods*, Marine News No. 3, pp. 28-33, 2004.
- [7] Balcerski, A., *Modele probabilistyczne w teorii projektowania i eksploatacji spalinowych silowni okrętowych*, Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk, 2007.