

## ANALIZA WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ UKŁADÓW NAPĘDOWYCH I URZĄDZEŃ STEROWYCH STOSOWANYCH NA HOLOWNIKACH PORTOWO-REDOWYCH

### ANALYSIS OF SELECTED SOLUTIONS OF DRIVE SYSTEMS AND STEERING DEVICES USED ON PORT LOADERS

**Tomasz Marut**

Uniwersytet Morski w Gdyni, Morska 81-87, 81–225 Gdynia,  
Wydział Mechaniczny, Katedra Siłowni Okrętowych,  
e-mail: t.marut@wm.am.gdynia.pl, ORCID 0000-0003-0446-0066

**Streszczenie:** W artykule poddano analizie układy napędowe holowników portowo-redowych oraz przedstawiono zalety i wady omówionych pędników i urządzeń sterowych, tj. śruby o stałym skoku, śruby o skoku zmiennym, śruby w dyszy, pędnika azymutalnego, pędnika cykloidalnego, steru Doerffera.

**Słowa kluczowe:** układ napędowy, śruba napędowa, pędnik azymutalny, pędnik cykloidalny, ster Doerffera, siła uciągu.

**Abstract:** The article analyzes the propulsion systems i.e. of the port tug and shows the advantages and disadvantages of the propeller described fixed-pitch screw, variable pitch screw, nozzle screw, azimuthal propeller, cycloidal propeller, Doerffer's Rudder.

**Keywords:** Propulsion system, propeller, azimuthal propeller, cycloid propeller, Doerffer's Rudder, pulling power.

## 1. WSTĘP

Holowniki stanowią grupę jednostek pływających, których zadaniem jest holowanie przybrzeżne i pełnomorskie obiektów nieposiadających własnego napędu, wprowadzanie i wyprowadzanie statków z portów, pomoc w manewrach, holowanie i asekuracja jednostek uszkodzonych, udział w akcjach ratowniczych itp. Czas eksploatacji holownika przewidziany jest na około 25 do 30 lat i po tym okresie wskazane jest wycofanie jednostki z dalszego użytkowania lub poddanie jej gruntownej modernizacji. Początki budowy holowników sięgają I połowy XIX wieku i wiążą się z możliwością wykorzystania pierwszych maszyn parowych do ich napędu. Obecnie do napędu holowników stosowane są prawie wyłącznie tłokowe

silniki spalinowe z zapłonem samoczynnym. Rozwiązania w budowie układów napędowych powinny zapewniać najlepsze możliwości wykorzystania wytwarzanej przez nie siły uciągu, która przyniesie najkorzystniejsze efekty w postaci holowania.

## 2. ROZWIĄZANIA UKŁADÓW NAPĘDOWYCH STOSOWANYCH NA HOLOWNIKACH PORTOWO-REDOWYCH

Układy napędowe jednostek holujących powinny posiadać:

- możliwość rozwijania dużej siły uciągu we wszystkich stanach eksploatacji jednostki;
- dobre właściwości manewrowe, umożliwiające szybką zmianę kierunku pływania, krótki czas uruchamiania, krótki czas osiągnięcia pełnej mocy biegu wstecz;
- możliwie małe wymiary – dane wskazują, że przedziały maszynowe na holownikach stanowią 40–60% długości jednostki i stanowią zasadniczy czynnik określający jej wymiary;
- ze względów statecznościowych – nisko położony środek ciężkości [Balcerski i Bochuński 1998].

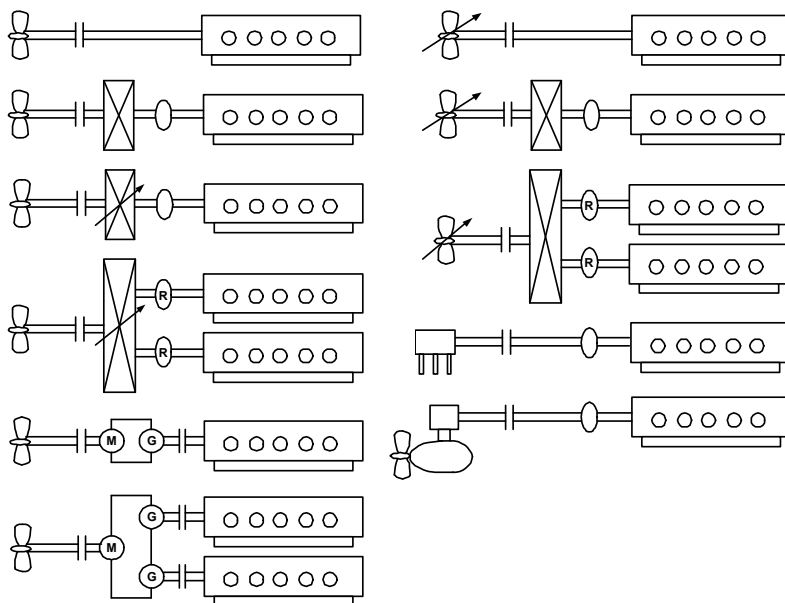
Rodzajem silnika napędowego stosowanego powszechnie na holownikach jest średnio- lub szybkoobrotowy silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym.

Układy energetyczne holowników są zróżnicowane w zależności od wielkości i przeznaczenia jednostki oraz typu zastosowanych pędników, co jest możliwe dzięki dużej liczbie możliwych rozwiązań głównych układów napędowych, które przedstawiono na rysunku 1.

Zalety i wady oraz możliwości zastosowań każdego z przedstawionych na rysunku 1 układów są następujące:

- układ ze śrubą stałą, napęd bezpośredni silnikiem nawrotnym. Był powszechnie stosowany w I połowie XX wieku na holownikach napędzanych tłokową maszyną parową. Obecnie nie jest często spotykany, ponieważ współczesne silniki średnio i szybkoobrotowe charakteryzują się prędkościami obrotowymi, przekraczającymi optymalne prędkości obrotowe śrub napędowych. Realizacja manewru pływania naprzód-wstecz wymaga zmiany kierunku pracy silnika. Częste stosowanie takich manewrów, co jest konieczne w przypadku holowników portowo-redowych, powoduje szybsze zużycie silnika.

Duże zużycie powietrza rozruchowego w tym przypadku zmniejsza pewność prawidłowego wykonania manewrów. Zastosowana śruba stała posiada najwyższą sprawność tylko dla określonego stanu eksploatacji – praca na palu – dla którego została zaprojektowana. Zaletą tego typu rozwiązania jest prostota konstrukcji;



**Rys. 1.** Główne rozwiązania układów napędowych stosowanych na holownikach [Balcerski i Bochuński 1998]

**Fig. 1.** Main solutions for propulsion systems used on tugs [Balcerski and Bochuński 1998]

- układ ze śrubą stałą, przekładnią mechaniczną redukcijną i silnikiem nawrotnym. Charakteryzuje się podobnymi wadami jak układ poprzedni, z wyjątkiem tego, że zapewnia możliwość doboru optymalnej prędkości obrotowej śruby i silnika dzięki możliwości zastosowania przekładni o określonym przełożeniu;
- układ ze śrubą stałą i przekładnią mechaniczną, redukcijną, wielobiegową oraz silnikiem nawrotnym. Jest stosowany w przypadku jednostek charakteryzujących się dwoma zróżnicowanymi stanami eksploatacji, jak np. holowniki ratownicze. Przekładnia wielobiegowa posiada dwa przełożenia: dla dużego uciążu (większe) i pływania swobodnego (mniejsze);
- układ ze śrubą stałą i przekładnią zbiorczą mechaniczną, redukcijną, wielobiegową i dwoma silnikami nawrotnymi (przy zastosowaniu przekładni nawrotnej silniki są nienawrotne). Ma zbliżone cechy do poprzedniego, zapewniając jednak większe zróżnicowanie mocy napędu poprzez możliwości pracy jednego lub obu silników. Często stosowany na holownikach ratowniczych średniej wielkości;
- układy z przekładnią elektryczną jedno i dwusilnikowe ze śrubą stałą. Ich zaletą jest łatwość zmiany prędkości obrotowej śruby napędowej, duża przeciążalność, wadą zaś – duże koszty inwestycji oraz ciężar;

- układy ze śrubą nastawną napędzaną pośrednio lub bezpośrednio przez silnik nienawrotny. Zaletą tych układów jest możliwość wykorzystania pełnej mocy silnika napędowego w każdych warunkach eksploatacji oraz dobre właściwości manewrowe – szczególnie napędy dwuśrubowe, a także łatwość napędzania stałobrotowych mechanizmów i odbiorników od głównego układu napędowego (prądnice podwieszane, pompy pożarowe itp.) pracującego ze stałą prędkością obrotową. Często stosowane zarówno na niedużych holownikach portowych, jak i największych oceanicznych, ratowniczych bądź dostawczych;
- układy napędowe z pędnikiem cykloidalnym i azymutalnym. Pędniki te mogą być montowane pojedynczo lub w układzie podwójnym, instalowane na rufie jednostki lub pod środkową częścią kadłuba. Zaletą obu rodzajów pędników są znakomite właściwości manewrowe jednostek [Balcerski i Bochuński 1998].

Urządzenia napędowe i sterowe holowników, obok wytwarzania dużego uciążu, powinny zapewniać:

- możliwość wykorzystania pełnej mocy silników głównych w zmiennych warunkach eksploatacji (holowanie – pływanie swobodne);
- dobre właściwości manewrowe niezbędne dla prac manewrowych w porcie, pozycjonowania holowników dostawczych i in.

Spełnienie tych wymagań jest możliwe w różnym stopniu, zależnym głównie od typu zastosowanego pędnika i urządzenia sterowego.

Na współcześnie budowanych holownikach używane są omówione niżej typy pędników i urządzeń sterowych.

### **3. PRZEGLĄD PĘDNIKÓW STOSOWANYCH NA HOLOWNIKACH**

Pędniki stosowane na holownikach portowo-redowych są to: śruby napędowe o skoku stałym, śruby napędowe o skoku zmiennym, śruby napędowe umieszczone w dyszy, pędniki azymutalne i pędniki cykloidalne [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015].

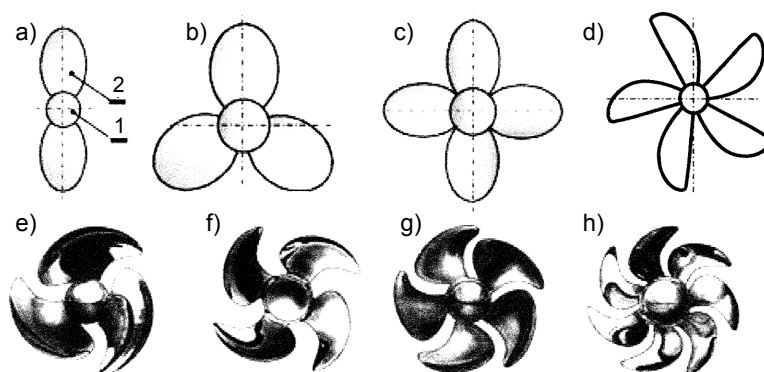
#### **3.1. Śruby napędowe**

Śruby napędowe były pędnikami najczęściej stosowanymi na holownikach portowo-redowych ze względu na najwyższą sprawność osiągającą wartość powyżej 70%. Różne rodzaje i rozwiązania konstrukcyjne śrub napędowych stwarzają możliwości dodatkowego podwyższania ich sprawności, tj. poprzez zastosowanie śruby o zmiennym skoku (nastawne), umieszczenie śrub w dyszach, stosowanie śrub typu tandem, śruby w pędnikach strugowodnych i azymutalnych oraz gondolowych [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015].

### 3.1.1. Śruba o stałym skoku

Jest typem pędnika zapewniającym możliwość wykorzystania pełnej mocy silnika napędowego tylko w jednych warunkach (rys. 2). Z tego też powodu śruby te dobierane są na etapie projektowania jednostki do warunków, w jakich przyjdzie im pracować, np. do warunków holowania (prędkości zwykle 3 w) bądź pracy na uwięzi (holowniki manewrowe) lub warunków kompromisowych (holowniki ratownicze). Dla uzyskania napędu wstecz muszą być napędzane przez silniki lub przekładnie nawrotne.

Holowniki portowe mogą być wyposażone w tzw. śruby manewrowe o symetrycznych profilach skrzydeł, ponieważ sprawność tychże śrub przy biegu naprzód i wstecz różni się zaledwie w kilkudziesięciu procentach [Balcerski i Bochuński 1998].



**Rys. 2.** Przykłady śrub napędowych o stałym skoku: a), b), c) śruby dwu-, trzy- i czteroskrzydłowe o klasycznym zarysie skrzydeł, d) śruba o małej powierzchni skrzydeł, e), f), g), h) śruby trzy-, cztero-, pięcio- i siedmioskrzydłowe o skrzydłach skośnych; 1 – piasta, 2 – skrzydło [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015]

**Fig. 2.** Examples of propeller screws with a fixed pitch: a), b), c) two-, three- and four-wing screws with a classic contour of the wings, d) screw with a small sash area, e), f), g), h) three-, four-, five- and seven-wing screws with oblique wings; 1 – hub, 2 – wing [Giernalczyk, Górski and Krefft 2015]

### 3.1.2. Śruba o skoku zmiennym

Śruba napędowa o skoku zmiennym jest pędnikiem okrętowym, umożliwiającym dowolną regulację wartości i kierunku naporu poprzez zmianę skoku skrzydeł (płatów) przy stałym kierunku obrotów wału napędowego [Górski 2010].

Śruby takie znajdują zastosowanie w określonych typach jednostek, przy których pędnik pracuje w dłuższych okresach czasowych przy zmieniających się w szerokich granicach obciążeniach. Znajdują także zastosowanie wówczas, gdy silniki napędowe są nienawrotne, w celu uzyskania biegu wstecznego [Balcerski 1998].

Zastosowanie śrub nastawnych daje następujące korzyści:

- zmiany prędkości oraz kierunku pływania osiąga się bez zmiany liczby i kierunku obrotów silnika głównego, w związku z czym można stosować nienawrotne silniki napędowe;
- w każdych warunkach pływania uzyskuje się pełne wykorzystanie silnika napędowego przy nominalnej liczbie obrotów;
- otrzymuje się dowolnie małe prędkości pływania niezależnie od minimalnej statecznej liczby obrotów silnika, co jest warunkiem wyznaczającym dolną granicę prędkości przy śrubach stałych;
- opór śrub napędowych o skoku zmiennym jest mniejszy niż opór śrub o skrzydłach stałych.

Do wad śrub napędowych o skoku zmiennym zalicza się:

- złożona i delikatna konstrukcja piasty oraz wału śrubowego, co znacznie podwyższa koszty;
- zwiększona średnica piasty powodująca zmniejszenie sprawności śruby średnio o 2–3%;
- zwiększona długość piasty na jednostkach jednośrubowych stwarzająca trudności w konstruowaniu steru;
- zmniejszona szerokość skrzydła u nasady wymagająca stosowania grubszych profili, co pociąga za sobą zmniejszenie sprawności śruby oraz większe niebezpieczeństwo wystąpienia zjawiska kawitacji;
- o wiele mniejsza sprawność przy biegu wstecz niż śruby o skoku stałym [Balcerski i Bochuński 1998].

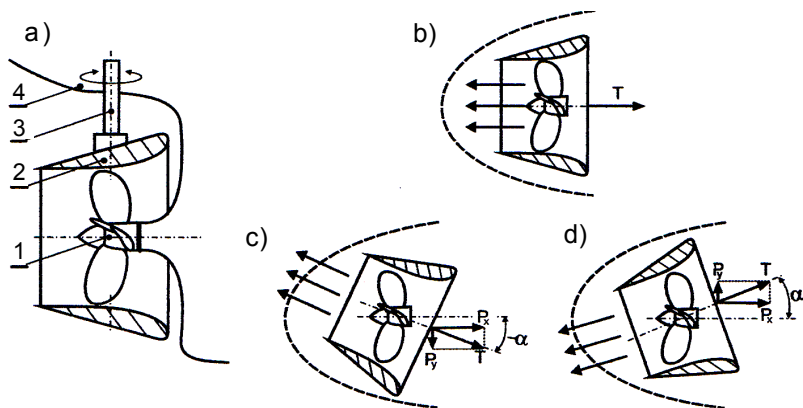
### 3.1.3. Śruba umieszczona w dyszy

Umieszczenie śruby napędowej w dyszy pozwala na podwyższenie sprawności pędnika poprzez ukształtowanie strumienia wody dopływającej do pola kręgu śruby i ograniczenie w ten sposób strat osiowych. Szczególnym przypadkiem takiego rozwiązania jest dysza obrotowa zwana też dyszą Korta [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015]. Rozwiązanie to umożliwia skuteczne sterowanie statkiem przy bardzo małych, a nawet bliskich zeru, prędkościach pływania, oraz znaczne zwiększenie uciążu, szczególnie przy pracach na uwięzi – o około 60% w porównaniu ze śrubą o skoku stałym (rys. 3).

Oprócz korzyści, jaką jest zwiększenie sprawności, zastosowanie dysz daje pewne korzyści dodatkowe:

- osłania pędnik przed lodem;
- tłumi kołysania wzdłużne jednostki;
- zapewnia niezmienny kierunek przepływu wody do śruby przy pracy okrętu na fali.

Praktyka wskazuje, że sterowność jednostki, wyposażonej w pędnik umieszczony w dyszy przy biegu wstecz, jest mniejsza niż bez tej dyszy. Zastosowanie dyszy pogarsza charakterystykę śruby o skoku stałym przy biegu wstecz.



**Rys. 3.** Budowa i działanie obrotowej dyszy Korta: a) elementy składowe, b), c), d) działanie obrotowej dyszy Korta; T – siła naporu śruby,  $P_x$  – składowa wzdłużna,  $P_y$  – składowa poprzeczna,  $\alpha$  – kąt odchylenia dyszy, 1 – śruba napędowa, 2 – obrotowa dysza Korta, 3 – trzon maszyny sterowej, 4 – rufa statku [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015]

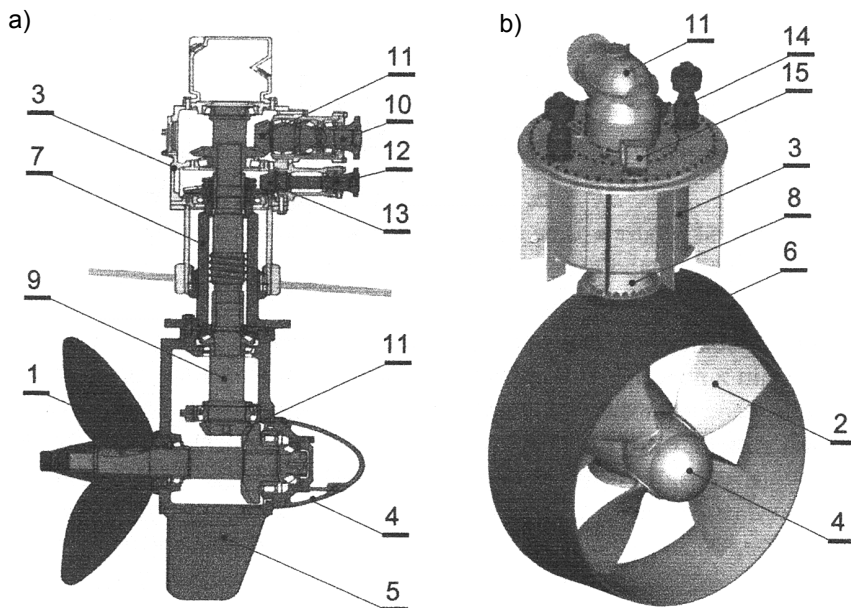
**Fig. 3.** Construction and operation of the rotating Kortz nozzle: a) constituent elements, b), c), d) – operation of rotary Kortz nozzle; T – bolt thrust force,  $P_x$  – longitudinal component,  $P_y$  – transverse component,  $\alpha$  – nozzle deflection angle, 1 – propeller, 2 – rotating Kortz nozzle, 3 – shaft steering gear, 4 – stern of the ship. [Giernalczyk, Górski and Krefft 2015]

### 3.2. Pędnik azymutalny (ASD)

Pędniki azymutalne (ASD – *Azimuth Stern Drive*) są bardzo efektywnym i skutecznym urządzeniem napędowym statku, wykonującym jednocześnie funkcje urządzenia sterowego (rys. 4). Nazywane są one też śrubosterami lub pędnikami Schottela [Górski 2010].

Istotą rozwiązań tych pędników jest to, że śruba, odmiennie niż w klasycznym rozwiązaniu linii wałów, napędzana jest przez przekładnię typu "Z", z równoczesną możliwością obrotu wokół pionowej osi przekładni. Dzięki temu rozwiązaniu siła naporu pędnika może być skierowana w dowolną stronę. W ten sposób pędniki azymutalne mogą spełniać także rolę steru i zapewniają doskonałe właściwości manewrowe.

Pędniki azymutalne mogą być mocowane do kadłuba, wciągane do odpowiednio ukształtowanej studni wewnątrz kadłuba lub wychylane. W dwóch ostatnich przypadkach stosuje się takie rozwiązanie w jednostkach operujących na wodach płytkich.



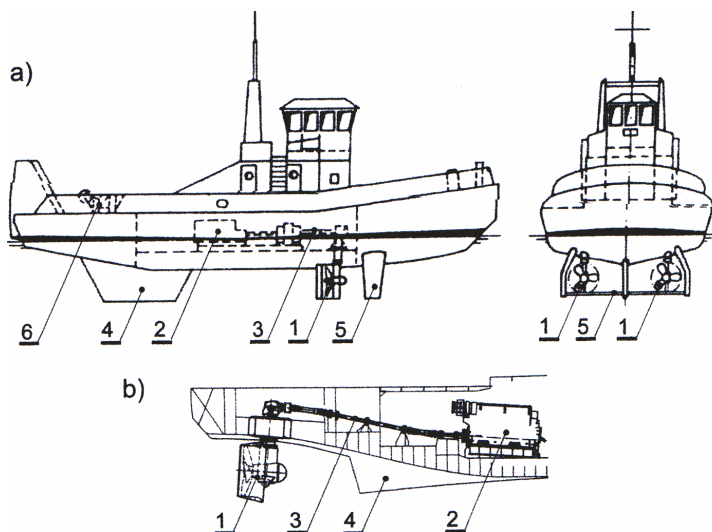
**Rys. 4.** Budowa pędnika azymutalnego: a) pędnik ze śrubą swobodną, b) pędnik ze śrubą w dyszy Korta; 1 – śruba swobodna, 2 – śruba Kaplana, 3 – obudowa przekładni, 4 – gondola, 5 – osłona śruby, 6 – dysza Korta, 7 – kolumna obrotowa, 8 – trzon, 9 – wał pośredni, 10 – wał napędowy, 11 – przekładnia stożkowa, 12 – wałek obrotu, 13 – przekładnia stożkowa, 14 – silnik hydrauliczny, 15 – nadajnik sprzężenia zwrotnego [Górski 2010]

**Fig. 4.** Construction of the azimuth propulsor: a) propeller with a free propeller, b) propeller with a screw in the Korta nozzle; 1 – free screw, 2 – Kaplan screw, 3 – gear housing, 4 – gondola, 5 – screw cover, 6 – Korta nozzle, 7 – pivot column, 8 – shank, 9 – intermediate shaft, 10 – drive shaft, 11 – bevel gear, 12 – pivot shaft, 13 – bevel gear, 14 – hydraulic engine, 15 – feedback transmitter [Górski 2010]

W omawianych pędnikach jako pędnik wykorzystuje się śrubę o stałym skoku, pojedynczą lub podwójną, w układzie tandem lub przeciwbieżne. Śruby mogą pracować bez dyszy lub być w niej umieszczone [Balcerski i Bochuński 1998].

Holowniki z napędem wykorzystującym pędniki azymutalne przedstawia rysunek 5.





**Rys. 5.** Holownik z napędem pędnikami azymutalnymi: a) pędnik w części dziobowej z osłoną, b) pędnik pod nawisem części rufowej; 1 – pędnik, 2 – silnik napędowy, 3 – wał, 4 – stępka stabilizacyjna, 5 – osłona pędników, 6 – hak holowniczy [Górski 2010]

**Fig. 5.** Tugboat with azimuth propulsors: a) propulsor in the forebody with the cover, b) propulsor under the overhang of the stern part; 1 – propulsor, 2 – propulsion engine, 3 – shaft, 4 – stabilization step, 5 – propeller cover, 6 – towbar [Górski 2010]

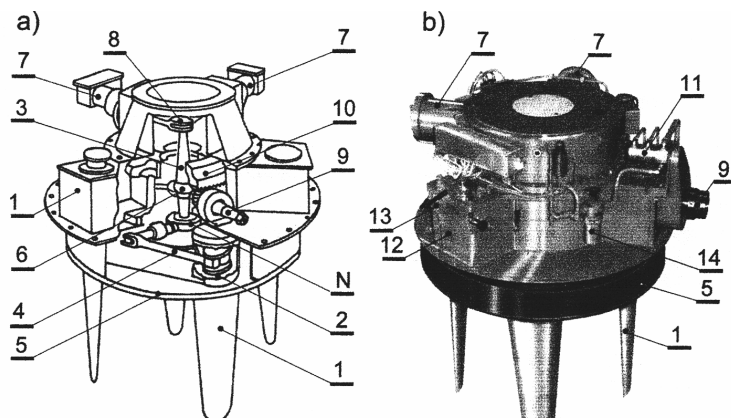
### 3.3. Pędnik cykloidalny (VSP)

Pędniki cykloidalne (*Voith-Schneider Propeller*) są zespołem pionowych płatów nośnych ustawionych na wirującej tarczy pod dnem statku. Dzięki regulacji kątów natarcia płatów układ pozwala uzyskać napór pędnika w dowolnym kierunku, co skutkuje zmianą kierunku ruchu statku. Ze względu na konieczność kompensacji obrotowej reakcji kadłuba, na statku muszą być zastosowane dwa pędniki o przeciwnych kierunkach obrotu tarcz wirujących.

Budowę pędnika pokazano na rysunku 6 [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015].

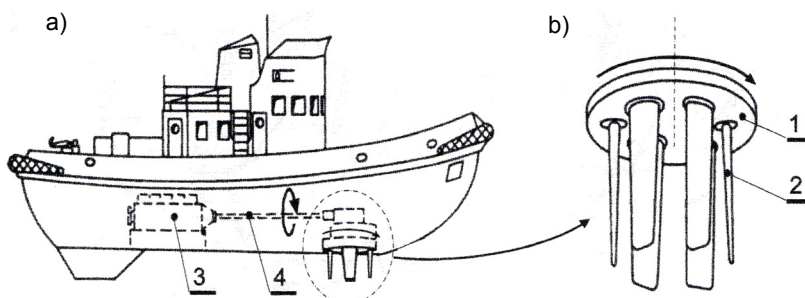
Podobnie jak pędnik azymutalny pędniki cykloidalne charakteryzują się zwartą i modułową budową, możliwością szybkiego montażu oraz demontażu. Niski poziom hałasu jest przyczyną ich zastosowania w jednostkach do zwalczania min morskich [Voith-Schneider 2010].

Jeden lub dwa pędniki cykloidalne bądź pędniki azymutalne mogą być montowane na rufie holownika – typu pchacz, jednak w większości przypadków montowane są w dnie kadłuba w jego części środkowej w 1/3 odległości, licząc od dziobu jednostki. Holowniki z tak umieszczonymi pędnikami uzyskały nazwę traktorów (rys. 7).



**Rys. 6.** Budowa pędnika cykloidalnego (Voith-Schneider Propeller): a) przekrój, b) widok pędnika; 1 – łopatką, 2 – obrotowa podstawa łopatką, 3 – wodzik, 4 – dźwignia mechanizmu nastawczego, 5 – przegub obrotu wodzika, 7 – siłownik hydrauliczny, 8 – zaczep trzonów siłowników, 9 – wał napędowy, 10 – zębata przekładni napędowej, 11 – zespół pomp hydraulicznych, 12 – zbiornik oleju, 13 – ręczna pompa oleju, 14 – filtr oleju [Górski 2010]

**Fig. 6.** Construction of the cycloidal propeller (Voith-Schneider Propeller): a) cross-section, b) view of the propulsor; 1 – spatula, 2 – swivel base of the spatula, 3 – slider, 4 – lever of the adjusting mechanism, 5 – wrist rotating joint, 7 – hydraulic cylinder, 8 – hitch of actuator shafts, 9 – drive shaft, 10 – transmission gear assembly, 11 – hydraulic pump assembly, 12 – oil tank, 13 – manual oil pump, 14 – oil filter [Górski 2010]



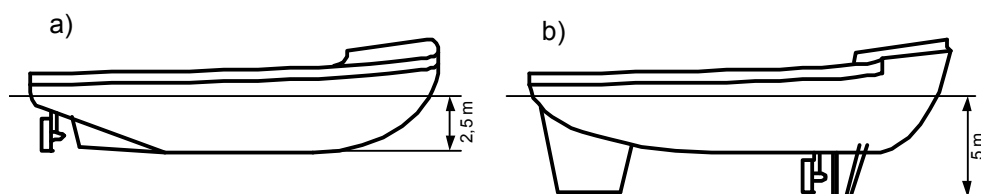
**Rys. 7.** Holownik z napędem cykloidalnym: a) położenie pędnika pod dnem statku, b) wygląd pędnika; 1 – płyta wirująca, 2 – łopatką pędnika, 3 – silnik napędowy, 4 – wał napędowy [Górski 2010]

**Fig. 7.** Tugboat with cycloidal drive; a) the location of the propulsor under the bottom of the ship, b) the propulsor's look; 1 – rotating plate, 2 – propeller blade, 3 – propulsion engine, 4 – propeller shaft [Górski 2010]

Takie rozmieszczenie układu napędowego cechują niżej wymienione zalety:

- pędnik jest umieszczony w przedniej części kadłuba, co zapewnia swobodny przepływ we wszystkich kierunkach, siły ciągu są wytwarzane przed osią obrotu jednostki;
- pod pędnikami jest umieszczona osłona, która wytwarza efekt dyszy i zwiększa ciąg pędnika. Chroni też łopaty pędnika przed uderzeniami o dno, a także przed uszkodzeniem w czasie dokowania jednostki;
- elementy holujące znajdują się z tyłu, poza środkiem obrotu jednostki.

Wadą zaś jest zwiększenie zanurzenia jednostki (rys. 8), oraz wiążący się z tym brak możliwości operowania w portach o małej głębokości [Voith-Schneider 2010].



**Rys. 8.** Porównanie wartości zanurzenia holowników portowych z pędnikami azymutalnymi umieszczonymi: a) na rufie, b) pod dnem na śródokręciu [Balcerski i Bochuński 1998]

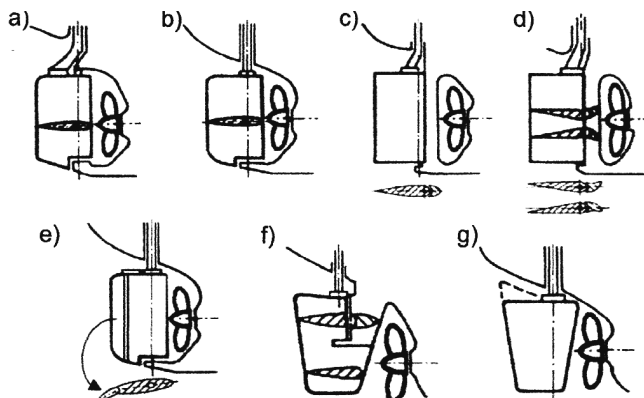
*Fig. 8.* Comparison of the tugboat draft values with azimuthal propulsors placed: a) at the stern, b) under the bottom of the amidships [Balcerski and Bochuński 1998]

#### 4. STER

Ster jest to urządzenie, będące częścią kadłuba jednostki pływającej, służące zarówno do utrzymywania, jak i do zmiany kierunku ruchu.

Urządzenia sterowe dzielą się na bierne i czynne (aktywne). Bierne urządzenia sterowe działają tylko podczas ruchu statku, są związane z opływem wody i wytworzeniem siły hydrodynamicznej, czynne zaś – niezależnie od ruchu statku.

Elementem wykonawczym biernego urządzenia sterowego jest płetwa sterowa. Przykłady różnych rozwiązań płetw sterów biernych pokazuje rysunek 9 [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015].

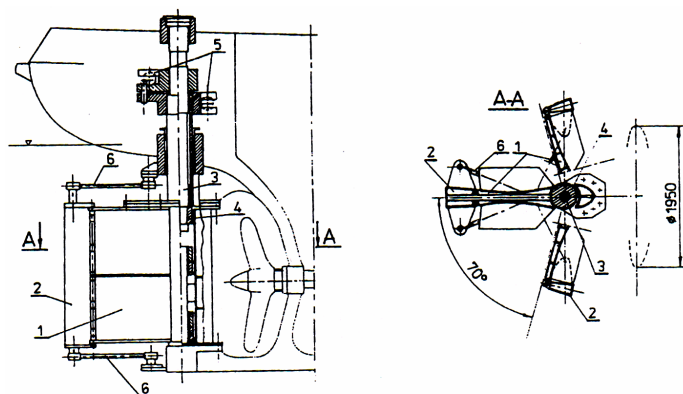


**Rys. 9.** Kształty płetwowych sterów biernych: a), b) ster zwykły prostokątny podparty (*simplex*), c) ster dwuczęściowy, d) ster skręcony, e) ster z płetwą pomocniczą, f) ster półpodwieszony (*mariner*), g) ster podwieszony [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015]

**Fig. 9.** Shapes of rudder rudders: a), b) plain rectangular supported rudder (*simplex*), c) two-piece rudder, d) helm twisted rudder, e) rudder with auxiliary blade, f) semi suspended rudder (*mariner*), g) suspended rudder [Giernalczyk, Górski and Krefft 2015]

#### 4.1. Ster otwierany – Ster Doerffera

Znaczną poprawę właściwości manewrowych może zapewnić zastosowanie specjalnych konstrukcji sterów. Przykładem takiego rozwiązania jest ster otwierany o nazwie „Ster Doerffera” (rys. 10), od nazwiska jego głównego konstruktora.



**Rys. 10.** Budowa steru otwieranego (Doerffera): 1 – płetwa, 2 – lotka, 3 – trzon sterowy wewnętrzny, 4 – trzon sterowy zewnętrzny, 5 – sterownica, 6 – ciągnio [Balcerski i Bochuński 1998]

**Fig. 10.** The structure of the opening rudder (Doerffer): 1 – fin, 2 – aileron, 3 – internal rudder, 4 – external rudder shaft, 5 – helm, 6 – pull rod [Balcerski and Bochuński 1998]

Ster ten został opracowany w Instytucie Budowy Okrętów na Politechnice Gdańskiej jako wynik prób, mających na celu udoskonalenie właściwości manewrowych jednostek pływających. Ster Doerffera został po raz pierwszy i jedyny zamontowany pod koniec lat 80. XX wieku na polskim holowniku „Achilles”, który pływał w gdyńskim porcie. Pomimo swoich zalet nie przyjął się jako nowatorskie rozwiązanie urządzenia sterowego poprawiającego możliwości manewrowe.

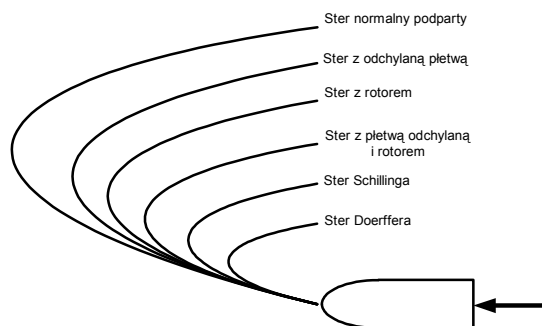
Podstawowe funkcje steru są następujące:

- sterowanie sterem złożonym podczas ruchu jednostki do przodu;
- rozdzielanie strumienia śrubowego i odwracanie go pod różnymi kątami ku przodowi w celu hamowania lub cofania jednostki;
- uzyskiwanie dużych sił bocznych, dających zwiększoną manewrowość w szerokim zakresie prędkości, również bliskich zeru, w przód i w tył.

Wymienione powyżej funkcje steru były realizowane przy pracy śruby napędowej o stałym skoku, poprzez kierowanie energii strumienia wody, pochodzącego od urządzenia śrubowego do urządzenia sterowego.

Ster Doerffera cechuje się następującymi korzystnymi właściwościami w stosunku do steru tradycyjnego:

- znaczne zwiększenie możliwości manewrowych jednostki, szczególnie przy małych prędkościach;
- możliwość wykonywania zwrotów w miejscu;
- uzyskanie bardzo dużych sił hamujących i hamowanie z możliwością kontroli i korekty kursu;
- umożliwienie ruchu jednostki wstecz, bez zmiany kierunku pracy śruby napędowej;
- płynne zmniejszenie prędkości aż do uzyskania prędkości ujemnych przy niezmiennych i stosunkowo dużych obrotach śruby napędowej;
- możliwość zamontowania na każdym typie spośród obecnie produkowanych jednostek pływających [Dauter 1989].



**Rys. 11.** Możliwości manewrowe statku przy zastosowaniu różnych typów sterów [Dauter 1989]

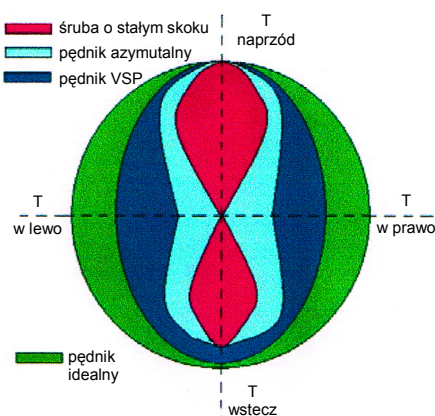
**Fig. 11.** Maneuverability of the ship using different types of rudders [Dauter 1989]

W urządzeniu sterowym o takim rozwiązaniu możliwe są trzy typy pracy steru:

- praca ze zablokowanymi płetwami steru. Obie płetwy wychylają się o m kąt. Maksymalny kąt wychylenia płetw na każdą burtę wynosi  $\pm 25^\circ$ , wówczas kąt wychylenia lotki względem płetwy wynosi około  $23^\circ$ ;
- praca z rozprężniętymi płetwami w celu uzyskania zwiększonej siły bocznej. Każda płetwa wychylać się może niezależnie do  $75^\circ$  na swoją burtę i  $25^\circ$  na burtę przeciwną;
- praca z rozprężniętymi płetwami w celu zmniejszenia prędkości lub dla uzyskania ruchu wstecz. Odchylenie każdej płetwy na swoją burtę wynosi do  $75^\circ$ , a odchylenie lotek – około  $70^\circ$  względem płaszczyzny odpowiedniej płetwy [Dauter 1989].

## 5. DZIAŁANIE SIŁY UCIĄGU A ZDOLNOŚCI MANEWROWE

Idealny pędnik okrętowy winien umożliwić uzyskanie siły naporu mogącej działać w dowolnym kierunku w stosunku do osi głównej statku (rys. 12).



**Rys. 12.** Możliwości wytworzenia siły naporu w określonym kierunku przez pędniki okrętowe [Herdzik 2007]

**Fig. 12.** Possibilities of creating thrust force in a given direction by ship's propulsors [Herdzik 2007]

Najistotniejszą cechą pędników cykloidalnych i azymutalnych jest możliwość dowolnego ukierunkowania siły naporu na prawą lub lewą burtę co umożliwia jednostce pływanie w bok [Balcerski i Bochuński 1998].

Holownik wyposażony w pędniki azymutalne może wytworzyć około 5–6 razy większą siłę boczną niż holownik wyposażony w tradycyjną śrubę napędową i ster [Herdzik 2011].

Pędnik o idealnej charakterystyce nie został jeszcze zbudowany. Parametry zbliżone do ideału posiada pędnik cykloidalny Voitha-Schneidera, który jest w stanie osiągnąć w najłagodniejszym kierunku do 85% siły naporu realizowanej w osi głównej statku przy pracy naprzód [Herdzik 2007].

Zastosowanie pędników azymutalnych czy też cykloidalnych umożliwia dowolne skierowanie siły naporu, eliminuje konieczność stosowania urządzeń sterowych (rolę tę przejmują pędniki) i w sposób znaczący poprawia zdolności manewrowe holownika [Balcerski i Bochuński 1998].

## 6. KIERUNKI ROZWOJU

Wprowadzony w życie Załącznik VI Konwencji MARPOL, dotyczący zapobiegania zanieczyszczeniu powietrza przez statki, wymusił na armatorach stosowanie rozwiązań, zmierzających do ograniczenia emisji do atmosfery szkodliwych substancji. Poziom emisji tych związków jest wprost proporcjonalny do ilości spalanej paliwa, dlatego też poszukiwane są rozwiązania pozwalające ograniczyć jego zużycie [Giernalczyk, Górski i Krefft 2015].

W celu obniżenia emisji szkodliwych związków w układach energetycznych napędu głównego holowników portowo-redowych w stoczniach dalekowschodnich (Hongkong, Singapur) zaczęto stosować rozwiązania napędu hybrydowego z bateriami akumulatorów lub wodorowymi ogniwami paliwowymi, służącymi do napędu pędników aktywnych.

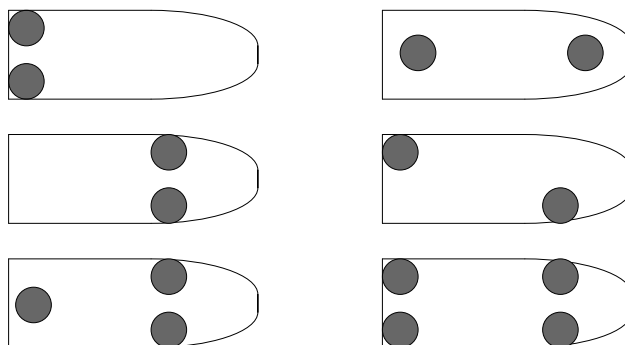
Innym rozwiązaniem jest zastosowanie napędu quasi-hybrydowego, w którym pędniki główne mogą być alternatywnie (w różnych trybach eksploatacyjnych) zasilane bezpośrednio przez silniki spalinowe (*direct diesel drive*) lub przez tzw. przekładnię elektryczną (w układzie spalinowo-elektrycznym – *diesel-electric drive*). Układy takie nie posiadają baterii akumulatorów.

Naturalne wydaje się być rozwiązanie zaproponowane przez firmę Rolls Royce w budowie serii holowników, gdzie do napędu silników głównych wykorzystuje się naturalny gaz skroplony (LNG) ([www.portalnorski.pl](http://www.portalnorski.pl) 2014).

W napędach holowników dominują obecnie rozwiązania napędów z dwoma pędnikami aktywnymi typu traktor lub typu pchacz. Wydaje się sensowne rozwiązanie bardziej rozbudowanych układów, np. z dwoma pędnikami umieszczonymi niesymetrycznie (na dziobie i na rufie) lub z trzema pędnikami, w których trzeci znajduje się albo z dziobu albo z rufy i oprócz funkcji napędowych stanowi w pełni funkcjonalny ster strumieniowy (rys. 13). W stanach awaryjnych dwa sprawne pędniki dają możliwości manewrowe obecnych rozwiązań.

W sytuacji układu z dwoma pędnikami, gdy zachodzi konieczność odstawienia jednego z nich, np. w związku z nawinięciem na pędnik liny holowniczej, holownik dysponuje tylko połową dotychczasowej mocy przy znacznie ograniczonej manewrowości (jest gorsza niż w układzie z jedną śrubą), w tym przypadku

bowiem jest on posadowiony niesymetrycznie w stosunku do osi głównej jednostki [Herdzik 2009].



**Rys. 13.** Możliwości posadowienia pędników napędu głównego [Herdzik 2009]

*Fig. 13.* Possibilities of foundation propulsion propulsors [Herdzik 2009]

Rozwiązania układów napędowych holowników portowo-redowych z trzema pędnikami należy poważnie brać pod uwagę, ponieważ koszty inwestycyjne nie są znacząco wyższe, a wzrastają możliwości manewrowe oraz bezpieczeństwo przeprowadzanych operacji [Herdzik 2009].

## 7. PODSUMOWANIE

W obecnie stosowanych i budowanych konstrukcjach holowników portowych praktycznie nie używa się już klasycznych napędów, składających się ze śruby o skoku stałym lub zmiennym, umieszczonych w dyszy, oraz klasycznego steru do nadawania kierunku pływania. Wadą tego typu rozwiązania była skomplikowana budowa, duże rozmiary przedziału maszynowego, a także niewielkie zdolności zmiany kierunku siły uciągu.

Rolę klasycznych rozwiązań układów napędowo-sterowych przejęły pędniki aktywne: azymutalne i cykloidalne. Cechuje je doskonała manewrowość, uzyskana dzięki możliwości skierowania siły naporu w dowolną stronę, oszczędności w kosztach budowy jednostki, prosta zwarta konstrukcja, kompaktowa i modułowa budowa pędnika, możliwość zamontowania pędnika w końcowej fazie budowy jednostki. Oba rodzaje pędników wymagają jednakże wyspecjalizowanego serwisu, co zwiększa koszty eksploatacji dla armatora.

W związku ze zwiększaniem się ruchu morskiego, a w szczególności w portach i na redach portów, gdzie ruch ten wymaga od jednostki dużych zdolności manewrowych, holownik posiadający nowoczesny układ napędowy, wyposażony w pędniki aktywne, będzie w stanie zapewnić bezpieczną żeglugę tak dla siebie, jak i dla jednostki holowanej.



Stosowanie wysokosprawnych pędników aktywnych jest kluczowym rozwiązaniem do poprawienia zdolności manewrowych jednostki, podniesienia bezpieczeństwa i szybkości wykonania manewru, uproszczenia procedur obsługi siłowni, a co za tym idzie, zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi.

## LITERATURA

- Balcerski, A., Bochuński, D., 1998, *Układy technologiczne i energetyczne jednostek oceanotechnicznych*, Politechnika Gdańska, Gdańsk.
- Dauter, A., 1989, *Projekt koncepcyjny steru Doerffera dla holownika 2500 KM*, Politechnika Gdańska, Wydział Okrętowy, prace badawcze nr 113/CPBR9,5-693/89, Gdańsk.
- Giernalczyk, M., Górski, Z., Krefft, J., 2015, *Różne rozwiązania sterów jako sposób ograniczenia zużycia paliwa na statkach morskich*, Logistyka, nr 6, s. 1415–1420.
- Górski, Z. 2010, *Okrętowe mechanizmy i urządzenia pomocnicze*, Trademar, Gdynia.
- Herdzik, J., 2007, *The Development of Specialized Ship's Propulsion Systems with the Aim of Improving their Manoeuvring Ability in the Aspect of Navigation Safety*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 14, no. 4, s. 211–218.
- Herdzik, J., 2009, *Proposals and Possibilities of Unconventional Thrusters Applications for Ship Propulsion*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 16, no. 4, s. 155–152.
- Herdzik, J., 2011, *Możliwości torowania drogi statkom podczas akcji kruszenia pokrywy lodowej, z użyciem holownika z napędem azymutalnym*, Logistyka, nr 5, s. 631–634.
- Źródła internetowe
- <http://www.portalmorski.pl/stocznie-statki>, 2014.
- Rolls-Royce*, 2014, materiały firmy, <https://www.rolls-royce.com>.
- Schottel*, 2010, materiały firmy, <https://www.schottel.de>.
- Voith-Schneider*, 2010, materiały firmy, <http://www.voith.com>.