

## PROPOSALS AND POSSIBILITIES OF UNCONVENTIONAL THRUSTERS APPLICATIONS FOR SHIP PROPULSION

**Jerzy Herdzik**

Gdynia Maritime University  
Marine Power Plant Department  
Morska Street 81-87, 81-225 Gdynia, Poland  
tel.: +48 58 6901430, fax: +48 58 6901399  
e-mail: georgher@am.gdynia.pl

### **Abstract**

*Unconventional thrusters have enhanced possibilities of direction oriented thrust generating, owing to the fact they are finding application as propulsion of chosen ships. On account on demand of navigational safety assuring (tugs, double-ended ferries, special ships, chosen cruise liners) or dynamic positioning (cable ships, suppliers, drilling vessels) the ship propulsion solution based on unconventional thrusters. That part of marine propulsion market was dominated by them. Unconventional thrusters allow possibilities of other applications like auxiliary propulsion (or emergency), bow or aft thrusters, antiheeling equipment. It is quested possibilities for other applications. By the way developing with aggressive promotion of that propulsion system advantages and presentation of theirs applications on still increasing quantity of ships, it is created an atmosphere that it is necessary to follow this way that no return to association – modern and safe ship is a ship equipped as a minimum with auxiliary unconventional propulsion system. In a practice, ships equipped with this propulsion system, give a crew a enhanced comfort of work during manoeuvring and even from that reason they are pleasant seen by ship crew. It must be seen these thrusters have excellent future. The efficiency drop is about 6-8% in comparison with conventional propulsion system and increasing fuel consumption, but this is the only one disadvantage. Forecasted development and rise of diesel-electric propulsion systems quantity would cause increased interest of unconventional thrusters. Ultimately they may revolutionize ship propulsion systems.*

**Keywords:** ships propulsion, unconventional thrusters, propulsion systems

## PROPOZYCJE I MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWAŃ AKTYWNYCH PĘDNIKÓW DO NAPĘDU STATKÓW

### **Streszczenie**

*Pędniki aktywne posiadają zwiększone możliwości wytwarzania ukierunkowanej siły naporu, dzięki temu znajdują zastosowanie do napędu wybranych jednostek morskich. Ze względu na wymagania zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi (holowniki portowo-redowe, promy pasażerskie używane do przepraw, jednostki specjalistyczne, niektóre duże statki pasażerskie tzw. cruise liners) lub pozycjonowania jednostek (kablownce, supliery, jednostki wiertnicze) zalecane jest rozwiązanie napędu głównego statku w oparciu o pędniki aktywne. Ta część rynku została przez nie zdominowana. Dają one również możliwości innych zastosowań np. jako napęd awaryjny (pomocniczy), stery strumieniowe, urządzenia przeciwprzechyłowe. Poszukuje się ich możliwości dalszych zastosowań. Przy okazji występując z agresywną reklamą zalet tej formy napędu oraz prezentacją ich zastosowań na coraz większej liczbie statków, wytwarza się atmosferę, że należy podążać tą drogą, że nie ma odwrotu od skojarzenia: nowoczesny i bezpieczny statek to statek wyposażony chociaż w pomocniczy napęd z użyciem pędników aktywnych. W praktyce, jednostki wyposażone w tą formę napędu dają zwiększony komfort pracy podczas manewrowania i z tego chociażby powodu są mile widziane przez załogi statków. Należy zauważyć, że są to pędniki mające przyszłość. Niedostatek sprawności w porównaniu z tradycyjnym napędem jest rzędu 6-8%, co powoduje odpowiednio zwiększone zużycie paliwa, ale jest to jedyna podstawowa wada. Przewidywany rozwój i wzrost liczebności napędów diesel-elektrycznych (z tzw. przekładnią elektryczną) spowoduje zwiększone zainteresowanie pędnikami aktywnymi. Docelowo mogą one zrewolucjonizować napędy statków.*

**Słowa kluczowe:** napęd statków, pędniki aktywne, układy napędowe

## 1. Uwagi wstępne

Współczesne możliwości projektowania i technologii pozwalają stworzyć konstrukcje i zbudować niekonwencjonalne pędniki okrętowe. Wraz z ofertą ich wytwarzania musi iść w parze reklama produktu, aby udało się go sprzedać. Szansę na większą sprzedaż daje też rozszerzenie możliwości ich stosowania i uzasadnienie konieczności ich zastosowań. Głównymi zaletami tych pędników są: możliwość wytworzenia siły naporu w kierunku niezależnym od aktualnego ustawienia statku, kompensacja sił od dwóch pędników – co umożliwia ich pracę przy załączonych sprzęgłach, możliwość bezstopniowej zmiany kierunku i siły naporu – co zwiększa manewrowość statku. Do istotnych wad należy zaliczyć: mniejszą sprawność pędnika w porównaniu do konwencjonalnej śruby w nominalnych warunkach pływania, zwiększone koszty inwestycyjne (nowa technologia, dublowanie pędników, bardziej skomplikowana konstrukcja), konieczne zmiany tradycyjnych projektów kadłuba i linii wałów [3]. Stanowią one jednak dość atrakcyjną alternatywę – w związku z tendencją do zwiększania manewrowości statków i ich samodzielności – są coraz powszechniej stosowane, szczególnie tam, gdzie zdolności manewrowe są w cenie, a zużycie paliwa stanowi drugorzędne znaczenie.

## 2. Propozycje zastosowań aktywnych pędników

Do pędników aktywnych zalicza się: pędniki typu Z (azymutalne, dawniej śrubostery), pędniki cykloidalne (Voith-Schneidera), pędniki strugowodne (waterjets), pędniki gondolowe (azipods), pędniki magnetohydrodynamiczne. Podstawowym zastosowaniem pędników aktywnych jest napęd główny statku. Dotyczy to głównie jednostek specjalistycznych (w tym holowników) (Rys.1), statków do dynamicznego pozycjonowania (kablownce, rurowce, jednostki wiertnicze), jednostek szybkich (np. superszybkie katamarany lub trimarany), promów o podwójnej rufie (double-ended ferries) (Rys.2), niektórych dużych statków pasażerskich (np. Queen Mary II).



Rys. 1. Holownik z napędem VSP typu traktor  
Fig. 1. Tug with VSP (tractor type)



Rys. 2. Prom o podwójnej rufie  
Fig. 2. Double-ended ferry

Wykorzystuje się w tych przypadkach duże możliwości manewrowe, bezpieczeństwo i szybkość wykonania zamierzonego manewru, bezpieczeństwo żeglugi (szczególnie istotne na akwenach o dużym ruchu), możliwość szybkich zmian obciążenia (częste manewry), w tym zatrzymania i startu silników głównych. W wielu przypadkach czas uruchomienia siłowni nie przekracza 5 minut. W niektórych z przekładnią elektryczną, typu diesel-electric lub gas-electric, ze względu na wytwarzanie energii elektrycznej, która służy również do zasilania silników elektrycznych napędzających pędniki, można powiedzieć, że siłownia jest zawsze w ruchu i gotowa do pracy.

### 3. Możliwości zastosowań pędników aktywnych

W napędach holowników dominują obecnie rozwiązania napędów z pędnikami aktywnymi typu traktor (pędniki w części dziobowej statku) lub typu pchacz (pędniki umieszczone pod nawisem rufowym). Wydaje się sensowne rozważanie bardziej rozbudowanych układów np. z dwoma pędnikami umieszczonymi niesymetrycznie (na dziobie i na rufie) (Rys. 3.4), 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. 3.3) [5]. W stanach awaryjnych dwa sprawne pędniki dają możliwości manewrowe obecnych rozwiązań. W przypadku układów z dwoma pędnikami, gdy zachodzi potrzeba odstawienia jednego z pędników (np. w związku z nawinięciem na pędnik liny holowniczej), holownik dysponuje nie tylko połową dotychczasowej mocy, ale przy znacznie ograniczonej manewrowości (jest gorsza niż w układzie z jedną śrubą, bowiem w tym przypadku jest on posadowiony niesymetrycznie).



Rys. 3. Możliwości posadowienia pędników napędu głównego  
Fig. 3. Possibilities of unconventional thrusters position (main propulsion)

Rozwiązania układów napędowych holowników portowo-redowych z trzema pędnikami należy brać pod większą uwagę, dlatego że koszt inwestycyjny nie jest znacząco wyższy, a zwiększenie możliwości manewrowych i bezpieczeństwo przeprowadzanych operacji są znacząco podniesione.

Dla typowych statków handlowych proponuje się stosowanie pędników aktywnych np. pędników z możliwością ich chowania wewnątrz kadłuba (ang. retractable thrusters) jako „lepszej wersji” sterów strumieniowych (Rys. 4), szczególnie w wersji kiedy mogą one pełnić funkcję awaryjnego napędu głównego (warunek uzyskiwanie minimum 55% prędkości nominalnej osiąganą przy sprawnym napędzie głównym).

Istotną wadą tego rozwiązania jest wymagany zapas wody pod kadłubem ze względu na wystawiania pędnika z kadłuba. Przy wejściach na akweny o głębokościach uniemożliwiających użycie tego steru będzie on bezużyteczny.

Zakres mocy uzyskiwanych ze współczesnych pędników umożliwia ich stosowanie nawet do napędu bardzo dużych statków, w tym dużych statków pasażerskich (ang. cruise liners). Przykładem może być napęd statku „Queen Mary II” typu CODAG (silnikami głównymi są 2 silniki wysokoprężne i 2 turbiny gazowe). Odbiornikami mocy są 4 pędniki gondolowe każdy po 21,5 MW, z których dwa umieszczone na dziobie mają możliwość obrotu o 360° dookoła osi, natomiast dwa rufowe są w ustalonym położeniu. Łączna moc napędu wynosi 117200 kW, co można uznać, że tego typu napęd potencjalnie może służyć do napędu każdego współczesnego statku.

Natomiast dla pędników typu ESP (nazwa firmy Schottel lub inlet thruster firmy VSP) (Rys. 5.) [8] istotnym ograniczeniem jest dostępna moc pędnika. Obecne propozycje sięgają mocy

do około 200 kW, co jest wystarczające np. do napędu niewielkich statków w żegludze rzecznej lub jeziorowej. Zaletą jest niższy poziom hałasu, co przy pływaniu rekreacyjnym lub w strefach ciszy (napęd pędnika stanowi wersję silnika elektrycznego) ma decydujące znaczenie.



Rys. 4. Pędnik chowany jako awaryjny napęd główny i dziobowy ster strumieniowy  
Fig. 4. Retractable thruster as an emergency propulsion and bow thruster



Rys. 5. Pędnik typu ESP  
Fig. 5. VSP inlet thruster (Schottel ESP thruster)

Pędniki gondolowe (ang. azipod) są coraz częściej stosowane (Rys. 6) również w napędach głównych i przystosowanych do pracy na akwenach pokrytych lodem. Niekiedy są to bardzo rozbudowane układy napędowe. Na przebudowanym w 2008 roku statku „Ice Maiden I” [4] zastosowano 8 pędników gondolowych: na rufie 2 pędniki azymutalne o mocy po 3MW firmy Rolls-Royce Aquamaster, na śródkręciu 4 pędniki azymutalne po 2 MW firmy Rolls-Royce oraz na dziobie 2 pędniki tunelowe po 1,42 MW firmy Rolls-Royce [4].

Pędniki niekonwencjonalne próbuje się stosować jako urządzenia antyprzechyłowe (mające za zadanie ograniczenie przechyłów bocznych statku w ciężkich warunkach sztormowych). Ma to istotne znaczenie dla statków pasażerskich (komfort pasażerów) lub wojennych (bezpieczeństwo okrętu, zwiększenie dokładności namiarów, zmniejszenie przeciążeń). Przykład zastosowania podano na Rys. 7.



*Rys. 6. Napęd dwoma pędnikami gondolowymi (śruby przeciwbieżne) statku „Shige Maru” [2]  
Fig. 6. The twin contra-rotating pod propellers installed on “Shige Maru” [2]*



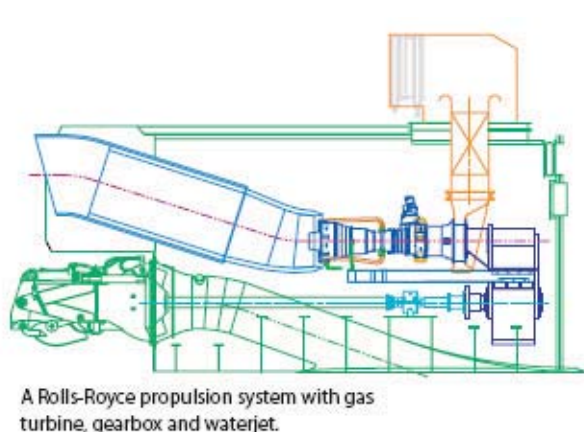
*Rys. 7. Zastosowanie pędników VSP jako urządzenia antyprzechyłowego [8]  
Fig. 7. Voith-Schneider propellers as antiheeling device*

Jest to nietypowe zastosowanie, ale pokazuje jak uniwersalne mogą być niekonwencjonalne napędy. Wszędzie, gdzie konwencjonalny napęd napotyka ograniczenia lub występują jego niedoskonałości, tam próbować się będzie zastosować napęd niekonwencjonalny, najlepiej jeśli może pełnić kilka funkcji jednocześnie. Jak daleko specjalistyczne mogą być statki, przykład statku do układania rurociągów podwodnych pokazano na Rys. 8. Funkcja statku decyduje o rozwiązaniach kadłuba, w celu umiejscowienia części przemysłowej. Natomiast względy eksploatacyjne i wymogi przemieszczania się statku (w tym pozycjonowania) wymuszają stosowanie niekonwencjonalnych napędów wraz z systemami do dynamicznego pozycjonowania jednostek [5, 6].

Na Rys. 9. przedstawiono superszybki prom z układem napędowym firmy Rolls-Royce z pędnikami strugowodnymi. Zasadniczo występuje tu konieczność ich stosowania. Przy prędkościach rzędu 50 węzłów (około 93 km/h) konieczne jest zmniejszenie oporu falowego statku, stąd wykorzystuje się konstrukcje oparte na katamaranie lub trimaranie (statku dwu- lub trzykadłubowym), które umożliwiają pływanie co najwyższej typu półwypornościowego. Ponadto tradycyjne śruby okrętowe przy prędkościach powyżej 30 węzłów (około 55 km/h) są bardzo wrażliwe na zjawisko kawitacji oraz znacząco spada ich sprawność, stąd stosowanie pędnika strugowodnego, który takich ograniczeń nie ma [1-3].



Rys. 8. Statek do układania rurociągów podwodnych „Seven Mavica”  
Fig. 8. Pipelay vessel „Seven Mavica” [www.subsea7.com]



A Rolls-Royce propulsion system with gas turbine, gearbox and waterjet.



Rys. 9. Superszybki prom z układem napędowym firmy Rolls-Royce i pędnikiem strugowodnym  
Fig. 9. Fast ferry with a Rolls-Royce propulsion system with gas turbine and waterjet

Decyzja o zastosowaniu turbin gazowych wynika z potrzeby ograniczenia masy silnika głównego oraz konieczności długich okresów eksploatacji w stanie manewrowania. Pozwalają one na szybkie uruchomienie siłowni i uzyskanie obciążeń znamionowych. Pędniki strugowodne z odchylaną dyszą mają znacznie gorsze możliwości manewrowe od pędników azymutalnych i cykloidalnych (VSP) - jednak na tyle wystarczające, żeby jednostki tego typu mogły samodzielnie manewrować, nawet przy niewielkich prędkościach.

#### 4. Propozycje przyszłościowe zastosowań aktywnych pędników

Poszukuje się możliwości dalszych zastosowań tego typu pędników. Przy okazji występując z agresywną reklamą zalet tej formy napędu oraz prezentacją ich zastosowań na coraz większej liczbie statków, wytwarza się atmosferę, że należy podążać tą drogą, że nie ma odwrotu od skojarzenia: nowoczesny i bezpieczny statek to statek wyposażony chociażby w pomocniczy napęd z użyciem pędników aktywnych.

Podstawowym polem zastosowania pędników aktywnych będzie zastępowanie tradycyjnych sterów strumieniowych. Istotna przewaga tego rozwiązania, podczas manewrowania oraz

w sytuacjach awaryjnych możliwość wykorzystania go jako napędu, spowoduje wzrost częstości jego aplikacji. W układach wieloelementowych dochodzi do zwiększenia niezawodności systemu napędowego. Niesprawność jednego elementu ogranicza możliwości manewrowe statku, ale daje mu w dalszym ciągu zdolność do samodzielnego ruchu. Ma to decydujące znaczenie na akwenach o dużym natężeniu ruchu, na wodach ograniczonych, w ciężkich warunkach sztormowych oraz przy przewozie niebezpiecznych ładunków. Podniesienie bezpieczeństwa żeglugi, zaostrożone wymagania manewrowości i samodzielności na coraz większej liczbie akwenów, spowodują, że eksploatowany statek nie będzie mógł ich ominąć. Wejście na nie związane będzie z dodatkowymi kosztami np. użycia jednostek do asekuracji, co sprzyjać będzie rozpowszechnianiu tego typu napędów, aby nie ponosić tych kosztów.

Systemem napędowym przyszłości jest napęd magnetohydrodynamiczny (ang. magnetohydrodynamic propulsion). W chwili obecnej podjęto próby jego stosowania głównie na okrętach podwodnych. Jego zaletą jest relatywnie niski poziom hałasu wytwarzany przez pędnik. Problemem koniecznym do rozwiązania jest znalezienie materiałów nadprzewodzących w jak najwyższych temperaturach i zachowanie tych własności w długim okresie czasu pracy. W ten sposób zwiększy się sprawność układu napędowego jako całości, który winien być większy od tradycyjnych napędów śrubami okrętowymi. Można wtedy oczekiwać ich znaczącego rozpowszechnienia.

Pędniki aktywne: azymutalne, VSP, strugowodne będą stosowane tam, gdzie napęd magnetohydrodynamiczny będzie miał ograniczone możliwości stosowania lub będzie wręcz niemożliwa jego aplikacja.

Zastosowanie pędników aktywnych nie wymaga stosowania tradycyjnej maszyny sterowej z płetwą sterową. Funkcję tę przejmują pędniki aktywne. Wymaga to zastosowania systemu sterowania nie tylko mocą (siłą uciągu) pędnika, ale i kierunkiem działania siły naporu. Zaproponowane obecnie rozwiązania są bardzo intuicyjne w przypadku pędników cykloidalnych VSP (dźwignia „gazu” plus koło „sterowe”), a dość proste w zrozumieniu i nauczaniu się ich wykorzystania w przypadku pędników azymutalnych (dżojstik dla każdego pędnika z osobna). W układach tych występują ustawienia neutralne, które umożliwiają bezpieczne wyjście z sytuacji stwarzającej zagrożenie. Daje to większe poczucie bezpieczeństwa pracy, ale nie zwalnia z myślenia.

Użycie symulatorów manewrowych z użyciem programów symulujących pracę tego typu pędników pozwala przyspieszyć proces szkolenia załóg, ale należy wyraźnie podkreślić nie może go całkowicie zastąpić. Praca na rzeczywistym obiekcie, nie tylko daje zwiększoną liczbę odbieranych bodźców z otoczenia, ale wymaga ponoszenia odpowiedzialności za skutki przeprowadzonych działań (w tym bezpieczeństwo zdrowia i życia ludzi). W procesie stosowania pędników aktywnych jako napędu statku może wystąpić jedno niekorzystne zjawisko – poczucie większych możliwości manewrowych, które dają te pędniki, sprzyja podejmowaniu bardziej ryzykownych działań i manewrów, odejścia od ogólnie przyjętych zasad zwanych potocznie „dobrą praktyką morską”.

## **5. Wnioski końcowe**

W praktyce, jednostki wyposażone w tę formę napędu dają zwiększony komfort pracy podczas manewrowania i z tego chociażby powodu są mile widziane przez załogi statków. Należy zauważyć, że są to pędniki mające przyszłość. Niedostatek sprawności w porównaniu z tradycyjnym napędem jest rzędu 6-8%, co powoduje odpowiednio zwiększone zużycie paliwa, ale jest to jedyna podstawowa wada. Przewidywany rozwój i wzrost liczebności napędów diesel-elektrycznych lub gas-elektrycznych (z tzw. przekładnią elektryczną) spowoduje zwiększone zainteresowanie pędnikami aktywnymi, szczególnie gondolowymi. Przejście na napęd pędników okrętowych przy pomocy silników elektrycznych staje się coraz bardziej popularne i uzasadnione. Poprawa sprawności napędowej układów z pędnikami aktywnymi doprowadzi do ich rozpowszechnienia i dominacji. Docelowo mogą one zrewolucjonizować napędy statków.

## Literatura

- [1] *The Specialist Committee on Unconventional Propulsors*, The Final Report and Recommendations to the 22<sup>nd</sup> ITTC.
- [2] Sasaki, N., *The Specialist Committee on Azimuthing Podded Propulsion Report and Recommendations*, ITTC Fukuoka 2008.
- [3] Rawson, K. J., Tupper E.C., *Basic Ship Theory*, Ship Dynamics and Design, 5<sup>th</sup> Edition, B&H 2001.
- [4] *DP III Flotel Ice Maiden I*, Adams Offshore Services Limited, 2008.
- [5] Leavitt, J. A., *Optimal Thrust Allocation in a Dynamic Positioning System*, 2008.
- [6] Dietmer, D., *Principal Aspects of Thruster Selection*, Dynamic Positioning Conference, Houston 1997.
- [7] *Steerable Thruster Solutions*, Wartsila 2005.
- [8] *VSP Brochure* 2008.