

**ZESZYTY NAUKOWE NR 5(77)  
AKADEMII MORSKIEJ  
W SZCZECINIE**

---

OBSŁUGIWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH  
**OMiUO 2005**

---

Mariusz Giernalczyk, Jerzy Herdzik

**Analiza porównawcza zintegrowanych układów napędowych**

Słowa kluczowe: zintegrowany układ napędowy, Propac, Alpha,

*W artykule przedstawiono porównanie zintegrowanych układów napędowych dwóch firm MAN B&W oraz Wärtsilä-Sulzer. Omówiono zalety i wady tych układów. Wskazano na problemy eksploatacyjne. Zamieszczono rysunki prezentowanych układów.*

**Comparative Analysis of Integrated Propulsion Systems**

Key words: integrated propulsion packages, Propac system, Alpha system

*Two integrated propulsion systems manufactured by MAN B&W and Wärtsilä, respectively, are compared. The advantages and disadvantages of these systems are discussed. Some operational problems are indicated. The presented systems are illustrated.*

## Wstęp

Najwięksi producenci silników okrętowych (szczególnie na rynku silników dwusuwowych) MAN B&W oraz Wärtsilä-Sulzer oferują armatorom zintegrowane układy napędowe, będące w całości produktem tych firm. Cechą charakterystyczną jest to, że dotyczą one układów z jednym wysokoprężnym silnikiem głównym, ale dzięki układowi zintegrowanemu pozwalają na napęd śruby poprzez przekładnię od dodatkowego silnika elektrycznego. Ponadto dzięki integracji śruby i steru lub stosowaniu podwójnych śrub okrętowych udaje się zwiększyć współczynnik sprawności napędowej, co prowadzi do oszczędności w zużyciu paliwa.

Kilkadziesiąt takich układów zostało zainstalowanych na statkach i istnieją już kilkuletnie doświadczenia związane z eksploatacją tych systemów. Pozwoliło to producentom na usunięcie drobnych niesprawności, zmiany konstrukcyjne niektórych elementów składowych układu, poprawę możliwości układu kontroli i sterowania, a w rezultacie podniesienie niezawodności.

### 1. Zintegrowane układy napędowe

Spośród propozycji zintegrowanych układów napędowych można wyróżnić:

- system firmy Wärtsilä-Sulzer o nazwie Propac, przedstawiony na rysunkach 1 i 2;
- systemy firmy MAN B&W nazywane Alpha Propulsion System, z prądnicą napędzaną od przekładni (rys. 3, rys. 4b) lub z prądnicą napędzaną od silnika napędu głównego (rys. 4a) zwany CODMAE System.

Zintegrowany system napędowy obejmuje znane i wcześniej eksploatowane elementy, doboru których dokonano przy wykorzystaniu programów optymalizacyjnych, zmierzających do podwyższenia sprawności napędowej.

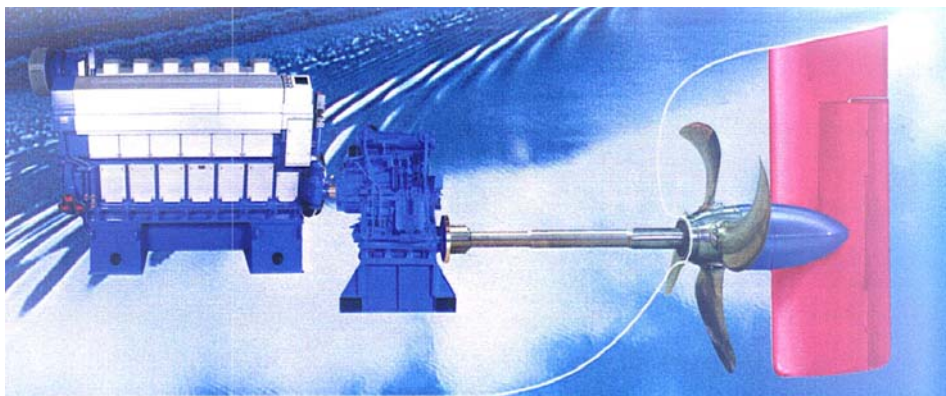
Składa się on z następujących elementów:

- silnika średnioobrotowego (w przypadku MAN B&W dodatkowo oferta obejmuje silniki wolnoobrotowe);
- dzielonego wału napędowego, współpracującego ze sprzęgłami, wyposażonego w specjalnie zaprojektowane uszczelnienie pochwy wału śrubowego;
- przekładni redukcyjnej, przystosowanej do współpracy z prądnicą;
- pędnika o specjalnej konstrukcji skrzydeł (współpracującego z płetwą steru w systemie Propac);

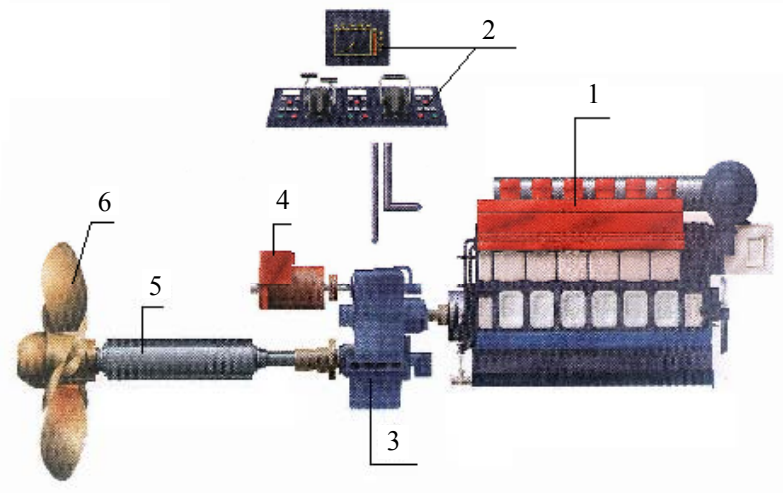
- automatycznego układu kontrolno-pomiarowego, nadzorującego poprawną pracę układu.

Zintegrowane układy napędowe dają szereg korzyści, do których należą:

- odpowiedzialność jednego producenta za wszystkie elementy głównego układu napędowego i zapewnienie kompleksowego serwisu;
- optymalny dobór poszczególnych elementów, a w ten sposób zapewnienie wysokiej sprawności napędowej;
- możliwość podwyższenia bezpieczeństwa napędu głównego przez zastosowanie dodatkowego silnika elektrycznego wspomagającego silnik napędu głównego lub go zastępującego (przy małych dodatkowych nakładach inwestycyjnych);
- możliwość optymalnej konfiguracji całego układu napędowego;
- możliwość (najbardziej ekonomicznie uzasadnionego) wyboru silnika napędu głównego (lub silników) w czasie eksploatacji statku;
- niskie koszty eksploatacyjne tego typu urządzeń (dodatkowa silnikoprądnica lub silnik elektryczny);
- brak zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną z powodu instalacji dodatkowych elementów (do ich pracy nie są wymagane dodatkowe odbiorniki energii elektrycznej);
- prosty układ transmisji mocy od silnika napędu głównego do pędnika;
- możliwość napędu śruby tylko silnikiem elektrycznym (szczególnie istotne dla układów z silnikami wolnoobrotowymi) pozwala na uzyskiwanie niewielkich prędkości statku, co ma znaczenie dla bezpieczeństwa żeglugi na rzekach, w kanałach, cieśninach lub na akwenach ograniczonych;
- możliwość stosowania różnorodnych pędników okrętowych.

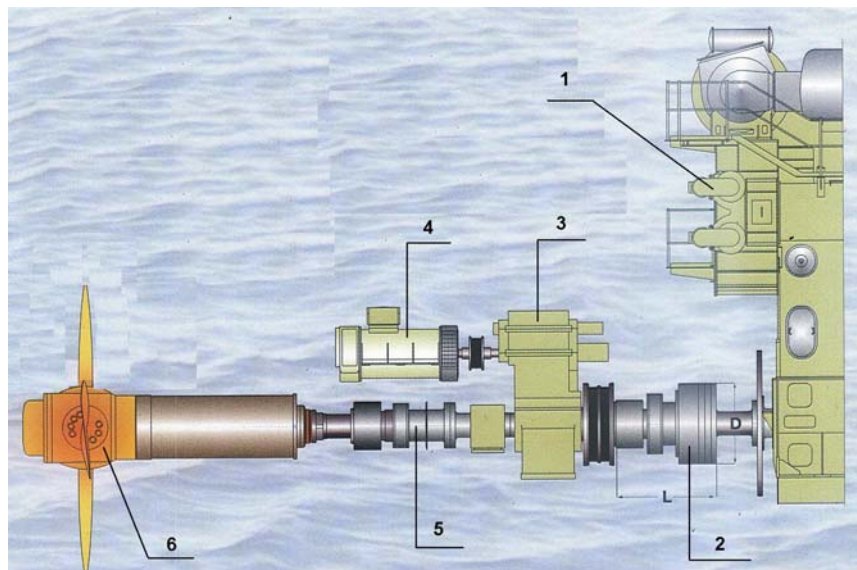


Rys. 1. Zintegrowany układ napędowy zawierający Propac Rudder [7]  
*Fig. 1. Complete propulsion package including a Propac Rudder*



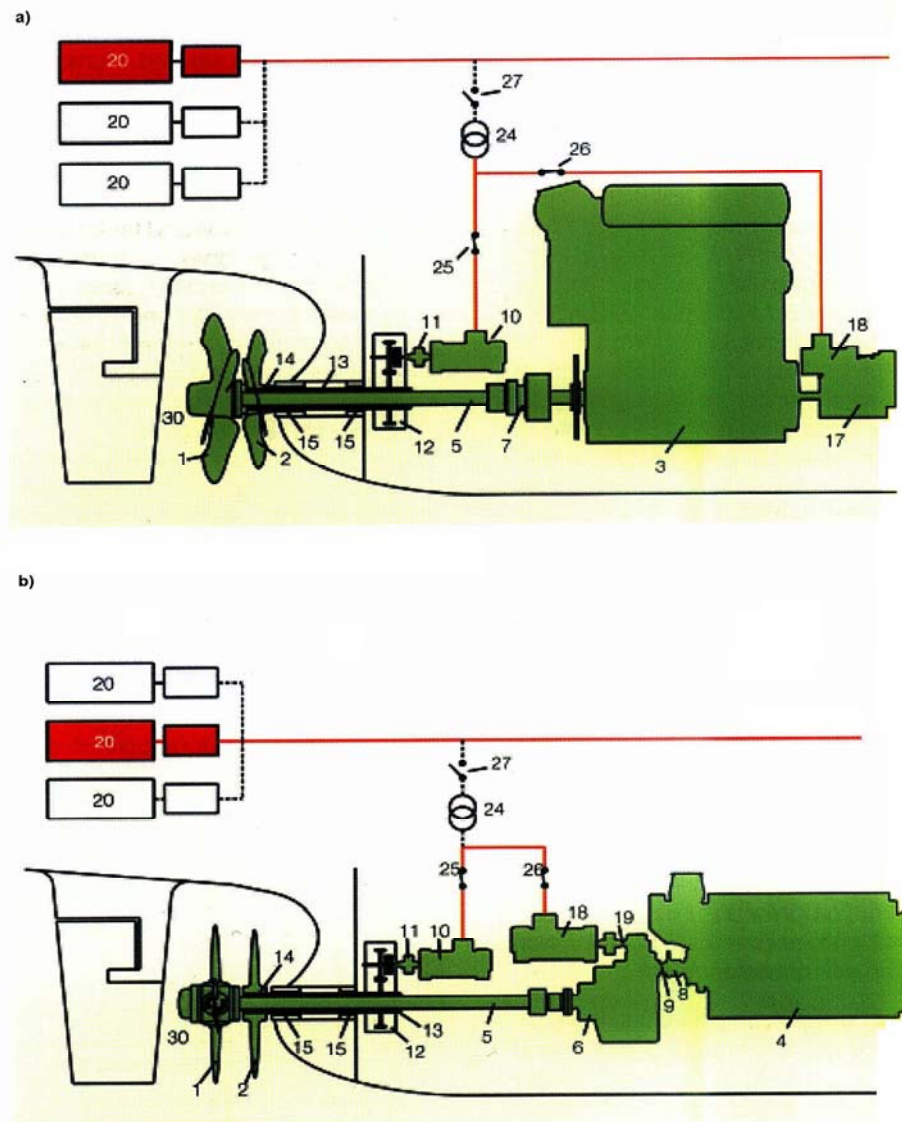
Rys. 2. Zintegrowany układ napędowy Propac firmy Wärtsilä-Sulzer [8] : 1 – silnik średnioobrotowy, 2 – układ sterowania i kontroli (Wichmatic lub Wichtronik), 3 – przekładnia redukcyjna jedno- lub dwubiegowa, 4 – silniko-prądnica, 5 – wał śrubowy, 6 – śruba napędowa [4]

*Fig. 2. Complete propulsion package – Propac, made by Wärtsilä-Sulzer*



Rys. 3. Zintegrowany system napędowy firmy MAN B&W [1]: 1 – silnik dwusuwowy, 2 – sprzęgło Alpha Clutcher, 3 – przekładnia PTO/PTI, 4 – silniko-prądnica, 5 – wał śrubowy, 6 – śruba napędowa o nastawnym skoku

Fig. 3. Alpha propulsion system made by MAN B&W



Rys. 4. Zintegrowany system napędowy firmy MAN B&W typu CODMAE z dodatkową śrubą przeciwbieżną [3]: a) system dla silnika dwusuwowego z prądnicą wałową, b) system dla silnika czterosuwowego z prądnicą podwieszoną; 1, 2 – śruby przeciwbieżne; 3 – silnik wolnoobrotowy; 4 – silnik średnioobrotowy; 5 – wał śrubowy; 6 – przekładnia redukcyjna; 7, 8 – sprzęgło; 9 – wał wejściowy do przekładni; 10 – silnik elektryczny; 11 – sprzęgło elastyczne; 12 – przekładnia redukcyjna; 13 – wał śrubowy zewnętrzny; 14 – łożysko międzywałowe; 15 – łożysko ślizgowe; 17 – przekładnia przyspieszająca; 18 – prądnica wałowa; 19 – przekładnia przyspieszająca; 20 – spalinowe zespoły prądotwórcze; 24 – transformator; 25, 26, 27 – przełączniki; 30 – ster

*Fig. 4. Alpha propulsion system made by MAN B&W, CODMAE type, with counter-rotating propellers*

## 2. Porównanie układów napędowych

Oferta producentów dotyczy szerokiego zakresu mocy napędu głównego zintegrowanego układu napędowego. W przypadku propozycji firmy MAN B&W oferta jest szersza, gdyż dotyczy ona również okrętowych silników dwusuwowych. Zestawienie parametrów zintegrowanych układów napędowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Porównanie parametrów zintegrowanych układów napędowych  
*A comparison of complete propulsion systems*

Producent	Wärtsilä-Sulzer	MAN B&W	MAN B&W
Nazwa systemu	Propac	Alpha	Alpha/ CODMAE
Typ SG	Czterosuwowy	dwu i czterosuwowy	dwu i czterosuwowy
Typ śruby	FPP/ CPP/ AT*	FPP/ CPP/ AT	FPP+ FPP/ CPP+ FPP
Typ prądnicy	prądnica napędzana od przekładni	prądnica napędzana od przekładni	prądnica napędzana od silnika głównego
Typ przekładni	Jednostopniowa (Single) lub dwustopniowa (Two Speed)	PTO lub PTO/PTI	bezprzekładniowy lub PTO
Średnica śruby [m]	1,9 – 3,7	2,2 – 4,25	
Prędkość obrotowa śruby [obr./min]	167 – 333	100 – 170 130 – 279	100 – 170 130 – 279
Zastosowanie	wszystkie statki (w tym 25% holowniki, 15% rybackie)	wszystkie statki	wszystkie statki
Przykład statku	m/s Lysvik	m/s Mary Arctica	m/s DAL Madagascar

\* FPP oznacza śrubę o stałym skoku,  
 CPP oznacza śrubę o nastawnym skoku,  
 AT oznacza pędnik aktywny.

### 2.1. Silniki

Najważniejszym elementem każdego układu napędowego jest silnik napędu głównego. W przypadku systemu Propac dostępne są praktycznie wszystkie silniki średnioobrotowe oferowane przez firmę Wärtsilä-NSD, zarówno rządowe jak i widlaste o zakresie mocy od 990 do 32 160 kW. Jak zapewnia producent, współpraca tych silników z systemem Propac pozwala na redukcję zużycia paliwa od 4 do 10% w stosunku do konwencjonalnego układu napędowego.

Oferta firmy MAN B&W jest pod tym względem bogatsza, bo obejmuje dodatkowo silniki wolnoobrotowe, przy czym zakres mocy tych silników wynosi od 800 kW dla silnika L23/30 (średnioobrotowy) do 16 320 kW dla silnika S60MC (wolnoobrotowy).

## 2.2. Przekładnie

W systemie Propac zastosowano przekładnie mechaniczne, zębate, czołowe, występujące w dwóch odmianach: Single i Two Speed. Przekładnia typu Single Speed jest klasycznym rozwiązaniem przekładni redukcyjnej, przez którą napędzana jest także prądnica wałowa. Napęd tej prądnicy odbywa się ze stałą prędkością obrotową. W przekładni typu Two Speed napęd prądnicy może być realizowany przy dwóch różnych prędkościach obrotowych silnika, przy zapewnieniu stałego momentu obrotowego na wejściu do prądnicy.

W systemie Propac występują:

- sprzęgło hydrokinetyczne dające możliwość odłączenia jednostki napędowej od układu;
- sprzęgło hydrokinetyczne umiejscowione w taki sposób, że możliwe jest przekazywanie całej energii silnika do napędu prądnicy; realizowane jest to przez ominięcie wału śrubowego; znajduje to zastosowanie w przypadku zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną,
- sprzęgło cierne usytuowane na wale napędzającym, pozwalające odłączyć silnik od systemu napędowego i napędzać wał śrubowy prądnicy, działającą wówczas jako silnik elektryczny; energia do napędu dostarczana jest wówczas przez spalinowe zespoły prądotwórcze; umożliwia to awaryjną jazdę w sytuacji awarii silnika głównego.

W Alpha Propulsion System występuje możliwość napędu prądnicy bezpośrednio od wału korbowego silnika głównego lub poprzez przekładnię redukcyjną. Podobnie jak w rozwiązaniu konkurencyjnym istnieje możliwość napędu śruby od silnika głównego lub silnika elektrycznego (lub obu łącznie).

W systemie Alpha występuje sprzęgło kłowe nazywane Alpha Clutcher, dające możliwość przełączenia rodzaju napędu śruby (napęd od silnika głównego bądź silnikiem elektrycznym).

Zaletami przekładni stosowanych w obu systemach są: małe gabaryty, przy znacznych redukcjach prędkości obrotowych, niewielki zakres czynności obsługowych oraz niezawodność.

## 2.3. Pędnik

W układzie napędowym systemu Propac zastosowano śrubę nastawną serii CP. Jest to śruba typu Ultra High Skew tj. o dużym skosie skrzydeł, zakrzywionych silnie w kierunku przeciwnym do kierunku obrotów (rys. 5). Takie uformowanie płatów śruby powoduje zmniejszenie podatności na kawitację, poziomemu drgań i hałasu.

Sposób osadzenia śruby może być tradycyjny, tj. z jednym punktem podparcia na końcu wału śrubowego, lub w połączeniu z płetwą sterową – układ o nazwie Propac Rudder (rys. 1) – dający dodatkowe korzyści w postaci:



- zwiększenia sztywności zamocowania dzięki dodatkowemu punktowi podparcia, co ma wpływ na zużycie łożyska śrubowego,
- zmniejszenia wibracji dzięki sztywniejszemu układowi,
- zwiększenia sprawności napędowej,
- zmniejszenia zużycia paliwa.

Oferta firmy MAN B&W obejmuje dodatkowo przeciwbieżne śruby typu tandem (rys. 3a). Takie rozwiązanie daje dodatkowe korzyści w postaci:

- zmniejszenia średnicy śrub, przy tej samej prędkości obrotowej;
- przy zachowaniu średnicy może być zmniejszona prędkość obrotowa;
- napór całkowity rozkłada się na dwie śruby, co powoduje zmniejszenie ich obciążenia i wzrost sprawności.

Wadą są zwiększone koszty inwestycyjne.

#### **2.4. System kontrolno-pomiarowy**

W systemie Propac funkcje układów kontrolno-pomiarowych spełniają systemy Wichmatic lub Wichtronic. Zapewniają one monitorowanie, wizualizację, sterowanie i kontrolę wszystkich elementów systemu Propac (m.in.: ustawienia skrzydeł śruby, ustalenia prędkości obrotowej i obciążenia silnika, nadzorowania pracy prądnicy wałowej, korygowania ustawienia płatów śruby, zadawania maksymalnego obciążenia śruby).

Każdy z tych systemów składa się z panelu sterowniczego umieszczonego na mostku i stacji kontrolno-pomiarowej zlokalizowanej w CMK. Systemy mają możliwość pracy w wypadku zaniku napięcia w siłowni i powodują automatyczne załączenie spalinowych zespołów prądotwórczych.

W układzie napędowym MAN B&W funkcje te sprawuje system kontroli napędu Alphatronic 2000 PCS, który posiada kilka paneli sterujących: w centrali manewrowo-kontrolnej (CMK) w siłowni, na mostku oraz na obu skrzydłach mostka.

### **3. Eksploatacja zintegrowanych układów napędowych**

M/s „Lysvik” był pierwszą jednostką, oddaną do eksploatacji w listopadzie 1998 r., na której zastosowano zintegrowany układ śruby i steru – Propac Rudder. Próby morskie, wykonane na tym statku, wykazały, że w stosunku do rozwiązania ze sterem konwencjonalnym, zainstalowanym na wcześniejszej jednostce uzyskano zmniejszenie mocy napędu o ok. 10% przy tej samej prędkości pływania i tej samej nastawie śruby. Podobne efekty zmniejszenia mocy napędu uzyskano w zintegrowanych systemach MAN B&W [1].

W dalszej eksploatacji jednostek z systemami Propac pojawiły się problemy z uszczelnieniem linii wałów. Na jednej z jednostek miały miejsce wycieki oleju na zewnątrz, na innej wypływ oleju ze zbiornika grawitacyjnego, spowodowany utworzeniem się poduszki powietrznej w komorze pierścieni uszczelniających. Poduszka powietrzna uniemożliwiała właściwy dopływ oleju do pierścieni, powodując ich wytarcie i zużycie. Wykazała to inspekcja, przeprowadzona podczas dokowania statków w stoczni NAUTA, przy okazji prac związanych ze zmianą konstrukcyjną-wydłużania jednostek o ok. 28 m. Po demontażu całego układu przenoszenia mocy (rys. 5) stwierdzono zużycie cierne uszczelnienia pochwy wału. Inspekcje prowadzone były pod nadzorem inspektorów z serwisu Wärtsili, którzy zwrócili uwagę na konieczność zachowania właściwego dystansu pomiędzy tylną powierzchnią piasty śruby a powierzchnią okna śrubowego. Niewłaściwy naciąg śrub ustalających może być przyczyną niewłaściwego ustawienia pierścieni uszczelniających, a co za tym idzie nieszczelności układu. Należy zaznaczyć, iż te uszkodzenia miały miejsce na wszystkich jednostkach tej serii wyposażonych w układ Propac.

Niemniej system Propac z powodzeniem stosowany jest na statkach pasażerskich i na promach, w tym m.in. na m/s „Polonia”, i nie stwierdzono tam usterek, jakie wystąpiły na opisywanych jednostkach.

## Podsumowanie

Propozycje zintegrowanych układów napędowych są zbliżone co do idei, przy czym propozycja firmy MAN B&W jest bardziej uniwersalna i bogatsza, gdyż daje większe możliwości wyboru typu układu napędowego.

W rozwiązaniach obu firm dodatkowe wejście do napędu wału śrubowego od urządzeń pomocniczych (silnik elektryczny, silnik-prądnica) pozwala na utrzymanie ruchu statku w sytuacji awarii silnika głównego z prędkością co najmniej 50% prędkości eksploatacyjnej. Zwiększa to bezpieczeństwo statku. Rozwiązania tego typu będą konieczne dla statków stwarzających zwiększone zagrożenie dla środowiska morskiego (np. zbiornikowce, chemikaliowce). Możliwe jest użycie tylko napędu pomocniczego (po wysprzęgleniu silnika głównego), co może być korzystne przy manewrowaniu statku w porcie, przeholowaniach lub przy ruchu statku wzdłuż nabrzeża. Rozwiązania tego typu mają szansę się upowszechnić dlatego, że wzrost kosztów inwestycyjnych nie jest znaczący (zwraca się po około 2 – 3 latach), a korzyści uzyskane tą drogą dotyczą całego okresu eksploatacji statku tj. przeciętnie 15 – 30 lat. Bez wątpienia zintegrowane systemy dają liczne korzyści armatorom, m.in. przyczyniając się do ograniczenia zużycia paliwa poprzez zmniejszenie mocy napędu, ale także powodują ograniczenie poziomu drgań, kawitacji śruby, zapewniają zwiększenie bezpieczeństwa załódze maszynowej w zakresie nadzoru nad urządzeniami

siłowni i układu napędowego. Niemniej, systemy te nie są wolne od wad, czego dowodem były usterki, jakie pojawiły się na wspomnianych jednostkach.



Rys. 5. Demontaż śruby typu High Skew na statku m/s „Lysvik” na doku stoczni (zdjęcie własne)  
*Fig. 5. Dismantling of High Skew Propeller in the Nauta dry dock*

## **Literatura**

1. Auxiliary Propulsion System For Two-stroke Engine Plants, MAN B&W 2001.
2. Benefits of Propac Rudder: Marine Talk 2/21/2000.
3. Codmae System – The Synergy Principle in Ship Propulsion, MAN B&W 2003.
4. Mechanical Propulsion Package-Propac, Wärtsilä 2000.
5. Quick Guide To Propulsion Packages – MAN B&W 2000.
6. Wartsila NSD – Propac Rudder. Propulsion Efficiency.
7. Wartsila Propac – The Power Behind the Power.
8. Wartsila Propeller Packages – Technology Review.

*Wpłynęło do redakcji w lutym 2005 r.*

## **Recenzenci**

dr hab. inż. Piotr Bielawski, prof. AM  
dr hab. inż. Oleh Klyus, prof. AM

## **Adresy Autorów**

dr inż. Mariusz Giernalczyk, st. of. mech okr., e-mail: magier@am.gdynia.pl  
dr inż. Jerzy Herdzyk, st. of. mech okr., e-mail: georgher@am.gdynia.pl  
Akademia Morska w Gdyni  
Katedra Siłowni Okrętowych