

# 5

## WYBRANE ASPEKTY NAUCZANIA ZASAD EKSPLOATACJI OKRĘTOWYCH UKŁADÓW NAPĘDOWYCH Z PRĄDNICAMI WAŁOWYMI

### 5.1 WPROWADZENIE

Prądnice wałowe zwane inaczej prądnicami podwieszonymi, są urządzeniami napędzanymi od wału korbowego silnika napędu głównego statku [2] poprzez przekładnię (ang. Power Take Off, PTO). Prądnice wałowe rozpoczęto szeroko stosować w latach 80-tych XX wieku (kiedy ceny paliw były znacznie wyższe niż dzisiaj) jako alternatywę dla prądnic napędzanych silnikami pomocniczymi, które w tamtych czasach w większości przystosowane były do pracy wyłącznie na paliwie destylacyjnym. Silniki główne już wówczas zasilane były tańszymi paliwami pozostałościowymi, więc zastosowanie prądnic wałowych dawało wymierne oszczędności kosztów eksploatacji [12].

Ponadto celowość zastosowania prądnic wałowych wynika w głównej mierze z wyższej sprawności efektywnej (mniejsze jednostkowe zużycie paliwa) silników wolnoobrotowych w porównaniu do silników średnioobrotowych stanowiących zwykle napęd prądnic w elektrowniach okrętowych [3], [13]. Jednak w dobie wysokosprawnych i niezawodnych silników pomocniczych zasilanych paliwami pozostałościowymi konieczne jest rozważenie zysków z produkcji energii elektrycznej (oszczędności paliwa) względem kosztów instalacji układu z prądnicą wałową oraz kosztów eksploatacji takich układów. Wielu armatorów wprowadza do eksploatacji nowe jednostki pływające wyposażone w układy napędu głównego z prądnicami wałowymi uzyskując znaczne oszczędności podczas kilkuletniej eksploatacji statków [10].

Zastosowanie prądnic wałowych często pozwala na wykorzystanie prądnicy, jako silnika elektrycznego (silnik-prądnica) w celu wspomagającego lub awaryjnego napędu śruby okrętowej (ang. Power Take In, PTI), dzięki czemu zwiększa się bezpieczeństwo eksploatacyjne statku.

Oprócz wymienionych zalet za wykorzystaniem prądnic wałowych przemawiają:

- mniejsze wymagania dotyczące wielkości wykorzystanej przestrzeni siłowni okrętowej niż ma to miejsce w przypadku prądnic napędzanych silnikami pomocniczymi;

- niższe koszty inwestycyjne w przypadku prądnic wałowych napędzanych poprzez przekładnie o stałym przełożeniu (ang. Gear Constant Ratio, GCR) niż w przypadku okrętowego zespołu elektroenergetycznego (dla układów z przekładniami planetarnymi o zmiennym przełożeniu np. firmy Renk RCF (ang. Renk Constant Frequency) oraz z elektrycznym przekształtnikiem statycznym koszty te są jednak wyższe);
- niższe koszty instalacji prądnic wałowych i krótszy czas instalacji układu, co wynika m.in. z faktu, że prądnica wałowa ma znacznie mniejsze wymagania dotyczące posadowienia, nie wymaga oddzielnego układu odprowadzenia spalin wydechowych (tak jak ma to miejsce z silnika pomocniczego), wymaga mniejszej liczby przyłączy z zewnętrznymi systemami siłowni;
- znacznie wyższa niezawodność i związany z tym całkowity przewidywany czas eksploatacji układu względem prądnic napędzanych własnymi silnikami pomocniczymi;
- bardzo niskie koszty obsługi prądnic wałowych oraz
- tańsze naprawy ze względu na niski koszt części zamiennych;
- redukcja generowanego hałasu, jako że prądnice wałowe są znacznie cichsze podczas pracy w porównaniu do zespołów energoelektrycznych.

Pośród wad prądnic wałowych należy wymienić:

- brak możliwości produkcji energii elektrycznej przez prądnicę wałową podczas postoju w porcie za wyjątkiem układów napędu głównego z możliwością rozsprzęglenia wału pośredniego (układy takie spotyka się np. na zbiornikowcach wahadłowych) ;
- dodatkowe obciążenie silnika głównego, kiedy prądnica wałowa pracuje, a więc w porównaniu do pracy bez prądnicy wałowej silnik będzie eksploatowany przy większym jednostkowym zużyciu paliwa oraz większym zużyciu oleju cylindrowego;
- zmniejszenie sprawności śruby i silnika w związku z koniecznością utrzymywania odpowiedniej prędkości obrotowej silnika (manewrowanie statkiem realizowane jest śrubą o zmiennym skoku) dla prądnic napędzanych przez przekładnie o stałym przełożeniu przy pracy prądnicy na niskich obciążeniach ;
- brak możliwości pracy przez dłuższy czas prądnicy wałowej napędzanej poprzez przekładnię o stałym przełożeniu równoległe z prądnicami napędzanymi silnikami pomocniczymi (pracę równoległą realizuje się tylko podczas przekazywania obciążenia pomiędzy elektrownią i prądnicą wałową);
- pojawienie się dodatkowych problemów wraz z bardziej złożoną linią wałów napędowych związanych z odpowiednim osiowym ułożeniem linii wałów podczas instalacji układu oraz konieczność instalacji w układzie linii wałów dodatkowych elementów (przekładni oraz sprzęgieł elastycznych).

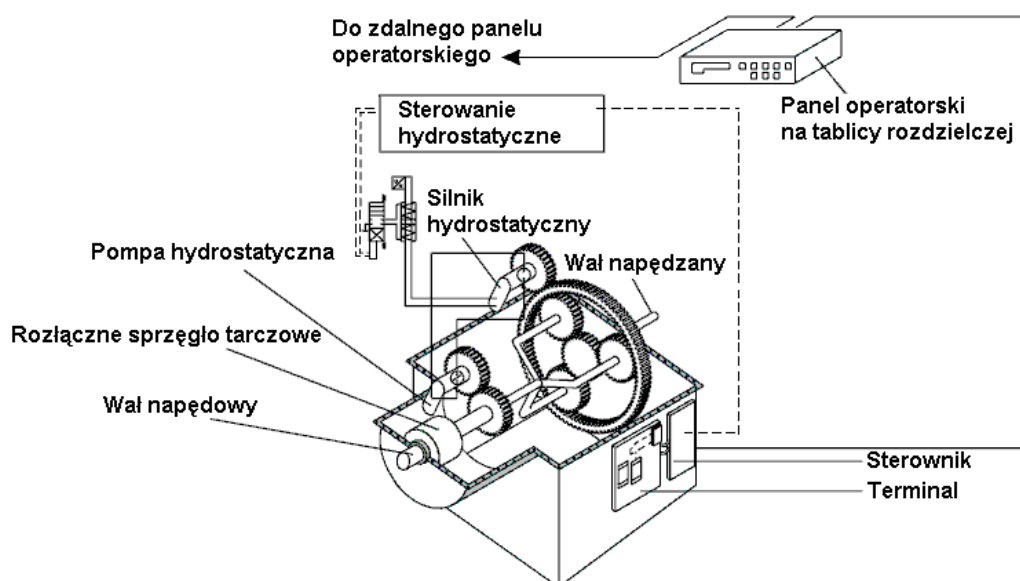
## 5.2 PRĄDNICA WAŁOWA W UKŁADZIE GENERATOROWYM (PTO)

Prądnice wałowe pracujące w układzie generatorowym można podzielić ze względu

du na sposób realizacji utrzymywania stałej częstotliwości prądu generowanego przez prądnicę. W tab. 5.1 zestawiono dostępne konfiguracje układów napędowych z prądnicami wałowymi dostępnymi dla silników firmy MAN B&W [11].

Układy z prądnicami wałowymi zasadniczo można podzielić na trzy grupy:

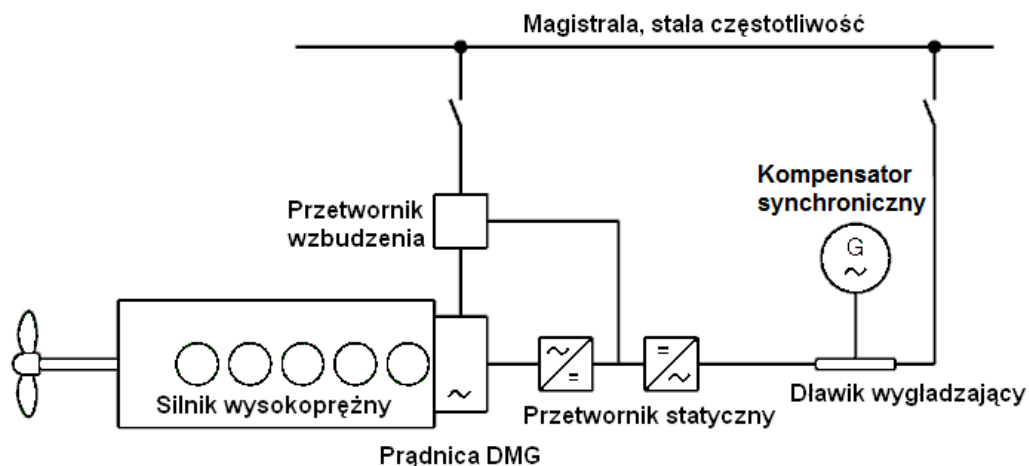
- 1 Układy PTO/CGR z prądnicami wałowymi napędzanymi poprzez przekładnię o stałym przełożeniu. Układ PTO w tym rozwiązaniu składa się ze sprzęgła elastycznego, przekładni stopniowej, sztywnego sprzęgła skrętnego oraz alternatora. Manewrowanie statkiem realizowane jest dzięki zastosowaniu śruby napędowej o zmiennym skoku.
- 2 Układy PTO/RCF z bezstopniowymi przekładniami planetarnymi RCF o zmiennym przełożeniu (patent firmy Renk), dzięki czemu możliwe jest uzyskanie stałej prędkości obrotowej alternatora przy zmiennej prędkości obrotowej silnika głównego (rys. 5.1). Układ PTO w tym rozwiązaniu składa się ze sprzęgła elastycznego, przekładni stopniowej, sztywnego sprzęgła skrętnego, przekładni RCF oraz alternatora. W rozwiązaniu tym statek może być napędzany śrubą o skoku stałym lub śrubą nastawną.



Rys. 5.1 Układ PTO/RCF opracowany przez firmę Renk

Źródło: [11]

- 3 Układy PTO/CFE (ang. Constant Frequency Electrical) z realizacją stałej częstotliwości prądu generowanego przez prądnicę za pomocą przekształtnika statycznego (rys. 5.2). Układ PTO w tym rozwiązaniu składa się ze sprzęgła elastycznego, przekładni stopniowej, sztywnego sprzęgła skrętnego, alternatora i osprzętu elektrycznego. Pośród rozwiązań CFE jako alternatywy spotyka się wolnoobrotowe prądnice wałowe (niewymagające przekładni zwielfokrotniającej obroty silnika głównego) zamontowane bezpośrednio na wolnym końcu wału silnika (ang. Direct Mounted Generator, DMG) lub zintegrowane z wałem pośrednim (ang. Shaft Mounted Generator, SMG). W rozwiązaniach PTO/CFE statek może być napędzany śrubą o skoku stałym lub śrubą nastawną [14].















Rys. 5.2 Układ PTO/CFE z prądnicą wolnoobrotową DMG

Źródło: [11]

Tab. 5.1 Podstawowe rozwiązania układów napędowych z prądnicami wałowymi

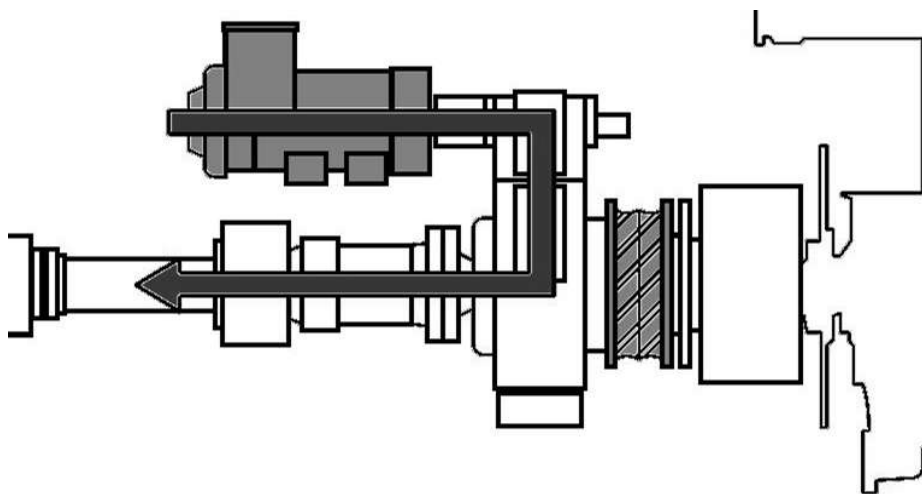
| Lp. | Typ         | Konfiguracja układu z prądnicą wałową |   | Projekt        | Posadowienie                       | Sprawność całkowita [%] |
|-----|-------------|---------------------------------------|---|----------------|------------------------------------|-------------------------|
|     |             | a                                     | b |                |                                    |                         |
| 1   | PTO/<br>GCR |                                       |   | BW I/<br>GCR   | Na silniku<br>(ustawienie pionowe) | 92                      |
| 2   |             |                                       |   | BW II/<br>GCR  | Na poszyciu dna<br>wewnętrznego    | 92                      |
| 3   |             |                                       |   | BW III<br>/GCR | Na silniku                         | 92                      |
| 4   |             |                                       |   | BW IV/<br>GCR  | Na poszyciu dna<br>wewnętrznego    | 92                      |
| 5   | PTO/<br>RCF |                                       |   | BW I/<br>RCF   | Na silniku<br>(ustawienie pionowe) | 88÷91                   |
| 6   |             |                                       |   | BW II/<br>RCF  | Na silniku<br>(ustawienie pionowe) | 88÷91                   |
| 7   |             |                                       |   | BW III/<br>RCF | Na silniku                         | 88÷91                   |
| 8   |             |                                       |   | BW IV/<br>RCF  | Na poszyciu dna<br>wewnętrznego    | 88÷91                   |

| Lp. | Typ         | Konfiguracja układu z prądnicą wałową   |   | Projekt        | Posadowienie                       | Sprawność całkowita [%] |
|-----|-------------|---|---|----------------|------------------------------------|-------------------------|
|     |             | a   | b   |                |                                    |                         |
| 9   | PTO/<br>CFE |    |    | BW I/<br>CFE   | Na silniku<br>(ustawienie pionowe) | 81÷85                   |
| 10  |             |    |    | BW II/<br>CFE  | Na poszyciu dna<br>wewnętrznego    | 81÷85                   |
| 11  |             |    |    | BW III/<br>CFE | Na silniku                         | 81÷85                   |
| 12  |             |    |    | BW IV/<br>CFE  | Na poszyciu dna<br>wewnętrznego    | 81÷84                   |
| 13  |             |    |    | DMG/<br>CFE    | Na silniku                         | 84÷88                   |
| 14  |             |  |  | SMG/<br>CFE    | Na poszyciu dna<br>wewnętrznego    | 84÷88                   |

Źródło: [11]

### 5.3 PRĄDNICA WAŁOWA W UKŁADZIE SILNIKOWYM (PTI)

Czasami zachodzi potrzeba zainstalowania na statku pomocniczego lub awaryjnego układu napędowego z prądnicą wałową pracującą w układzie silnikowym (silnik-prądnica). Zastosowanie takich układów jest szczególnie przydatne w odniesieniu do statków takich jak gazowce czy chemikaliowce, gdzie instalacja dodatkowego oprzyrządowania w układzie napędowym uzasadniona jest względami bezpieczeństwa eksploatacyjnego lub względami ekonomicznymi.



Rys. 5.3 Działanie układu PTI

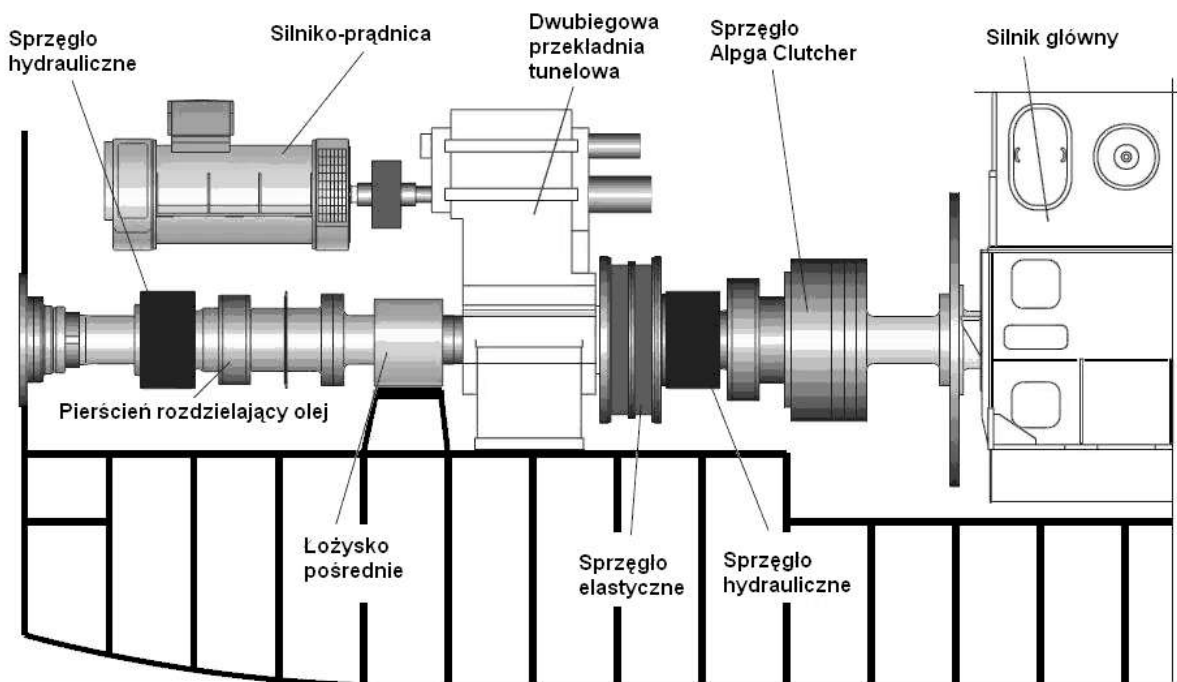
Źródło: [1]

W układach PTI prądnica wałowa pracuje jako silnik elektryczny zasilany przez okrętowe zespoły elektroenergetyczne. Silniko-prądnica instalowana jest generalnie w układach napędowych ze śrubą nastawną. Schematycznie budowę układu PTI przedstawiono na rys. 5.3. Najwięksi producenci silników napędu głównego statków mają w ofercie układy napędowe z silniko-prądnicami [1], [8], [15].

W zależności od rozwiązania technicznego układu z silniko-prądnicą istnieje możliwość pracy układu w różnych trybach:

- 1 PTI booster mode – tryb pracy silniko-prądnicy jako napędu wspomagającego, w którym pracuje ona równolegle z silnikiem głównym. Układ taki nie wymaga sprzęgła rozłącznego na przekładni, ale układ napędowy (przekładnia, linia wałów i śruba nastawna) muszą być dobrane do maksymalnego obciążenia realizowanego podczas jednoczesnej pracy silnika głównego i silniko-prądnicy.
- 2 PTI „take me home” mode (ang. Power Take Home, PTH) – tryb pracy silniko-prądnicy jako napędu awaryjnego. Układy tego typu wyposażone są w sprzęgło rozłączne pozwalające na rozsprzęgnięcie przekładni i silnika głównego w czasie pracy napędu awaryjnego.
- 3 PTI combination mode – kombinowany tryb pracy silniko-prądnicy jako napędu wspomagającego i awaryjnego. Układ taki wymaga zastosowania dwóch sprzęgieł rozłącznych. Przekładnia, linia wałów i śruba nastawna muszą być dobrane do maksymalnego obciążenia realizowanego podczas jednoczesnej pracy silnika głównego i silniko-prądnicy.

Firma MAN B&W oferuje rozwiązanie układu napędowego PTI/PTO (rys. 5.4).



Rys. 5.4 Pomocniczy układ napędowy firmy MAN B&W

Źródło: [20]

W układzie napędowym PTI/PTO silnik-prądnica zasila śrubę nastawną poprzez dwubiegową przekładnię tunelową z silnikiem głównym rozsprzęglanym sprzęgłem o nazwie Alpha Clutcher [1], [11]. Układ znalazł zastosowanie m.in. dla szeregu wolno-obrotowych silników okrętowych MAN B&W od S35MC do S42MC. Elementem łączącym w sprzęgle są stożkowe czopy, które zasprzęglają i rozsprzęglają wały silnika i przekładni. Sprzęgło jest sterowane olejem hydraulicznym z instalacji hydraulicznej zmiany skoku śruby napędowej statku. Łożysko oporowe, które przenosi napór śruby na kadłub przy rozsprzęglonym silniku głównym, wbudowane jest w sprzęgło Alpha Clutcher.

W celu zwiększenia sprawności układu napędowego przy pracy w trybie PTI układ został wyposażony w przekładnię dwubiegową, która zapewnia mniejszą prędkość obrotową śruby przy pracy napędu pomocniczego.

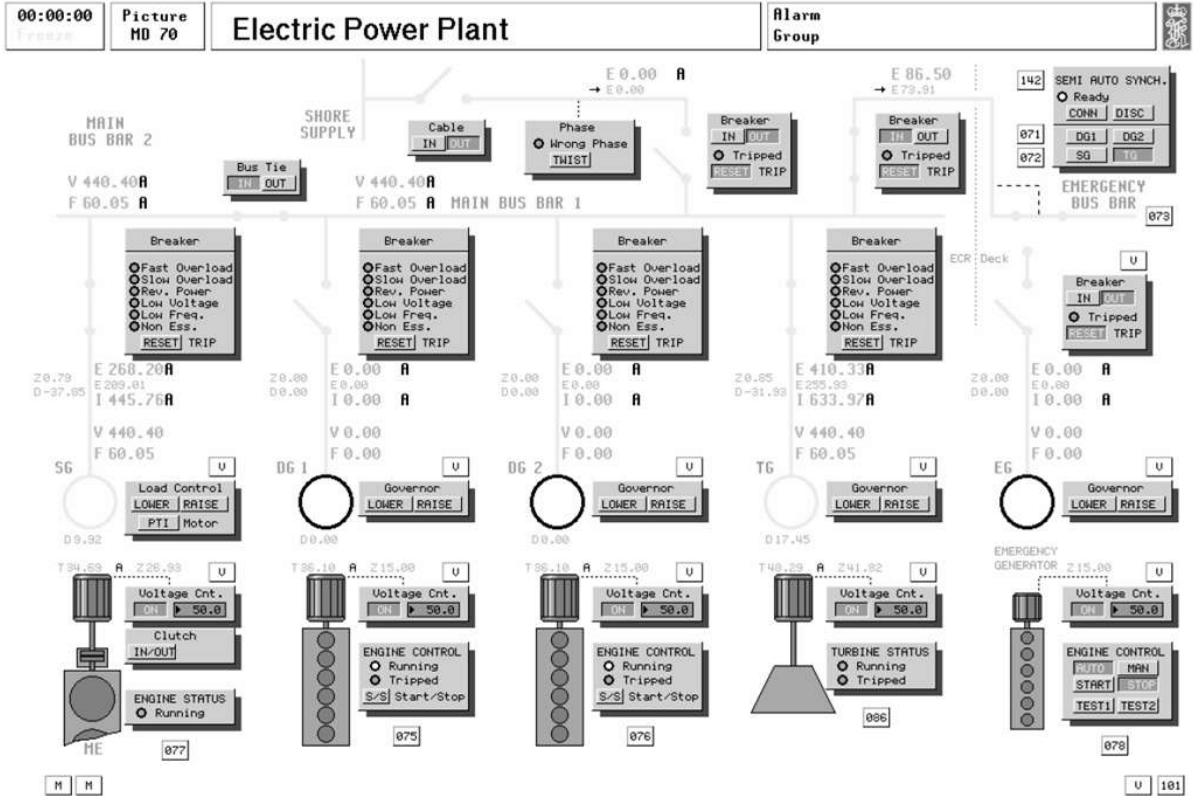
#### **5.4 SYMULACJA DZIAŁANIA UKŁADU NAPĘDOWEGO Z PRĄDNICĄ WAŁOWĄ (PTI/PTO)**

Na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Szczecinie specjalistyczne zajęcia dydaktyczne realizowane są na symulatorach siłowni okrętowej firmy Kongsberg [3], [9]. W wykorzystywanym typie symulatora Kongsberg Neptune zaimplementowano siłownię statku zbiornikowego typu VLCC z wolnoobrotowym, nawrotnym, dwusuwowym doładowanym silnikiem głównym (MAN B&W serii MC) [4], [5], [6]. W symulatorze zaimplementowano układ napędowy statku z silnik-prądnicą. Budowa elektrowni okrętowej statku zamodelowanego w symulatorze została przedstawiona na rys. 5.5 (plansza MD70). Sterowanie częstotliwością realizowane jest elektrycznie (układ PTO/-CFE). W związku z brakiem możliwości rozsprzęglenia silnika głównego i przekładni, silnik-prądnica pracując w trybie silnikowym pełni funkcję napędu wspomagającego (booster mode). Schemat układu silnik-prądnicy przedstawiono na rys. 5.6 (plansza symulatora MD77).

Układ silnik-prądnicy składa się z następujących podstawowych elementów: układu sterowania, przetwornika statycznego, silnik-prądnicy, kompensatora synchronicznego i dławika wygładzającego. Silnik główny poprzez przekładnię napędza prądnicę wałową poprzez przekładnię i sprzęgło rozłączne.

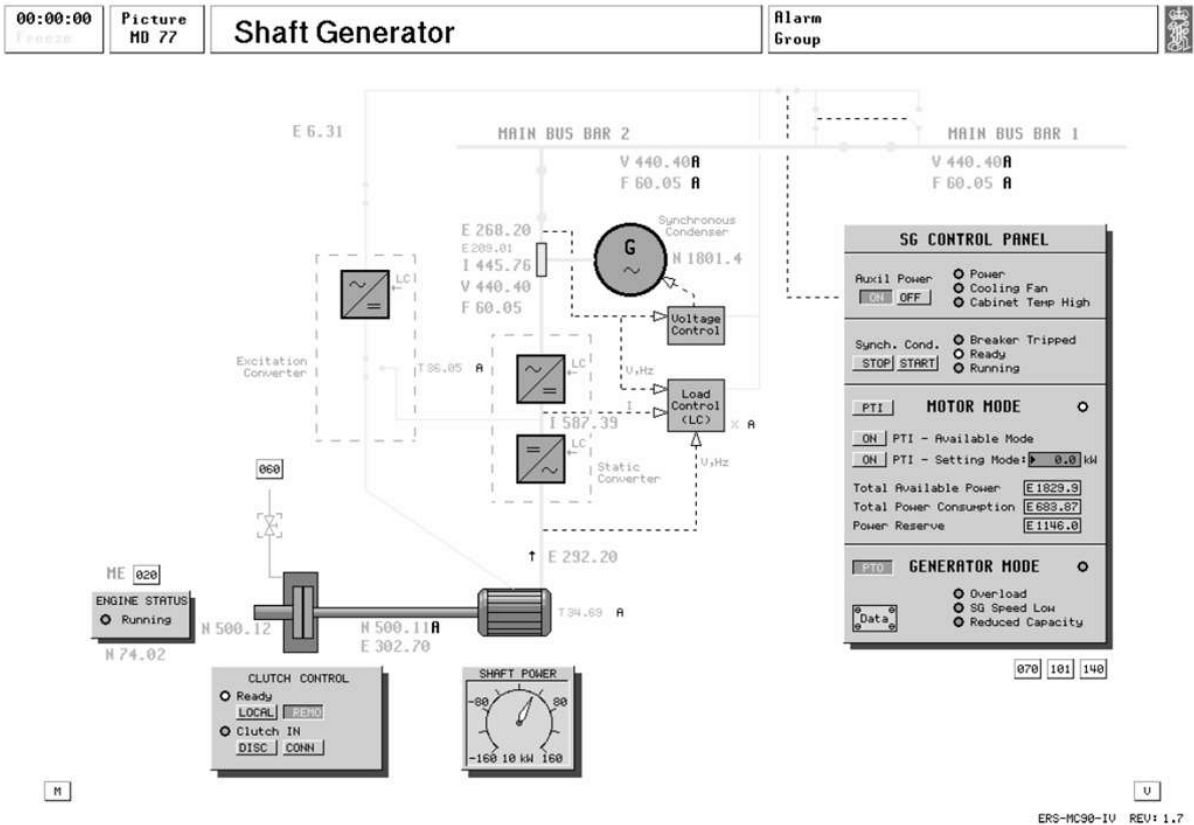
Sprzęgło rozłączne jest sterowane z wykorzystaniem powietrza sterującego. Zasprzęglenie sprzęgła jest możliwe, gdy prędkość obrotowa wału przed silnik-prądnicą jest mniejsza niż 300 obr/min.

Prądnica wałowa może zasilać główną magistralę elektryczną, gdy prędkość obrotowa prądnicy jest większa niż 200 obr/min. W zakresie prędkości obrotowych prądnicy 200÷400 obr/min moc prądnicy jest ograniczona do połowy, a powyżej 400 obr/min prądnica doprowadza do magistrali maksymalną dostępną moc. Kompensator synchroniczny steruje napięciem i częstotliwością. Częstotliwość jest zależna od prędkości obrotowej kompensatora, a napięcie utrzymywane jest na wymaganym poziomie dzięki automatycznemu regulatorowi napięcia (ang. Automatic Voltage Control, AVC). Sterownik obciążenia steruje przepływem mocy przez przetwornik statyczny za pośrednictwem układów tyrystorowych oraz steruje wzbudzeniem prądnicy wałowej.



Rys. 5.5 Budowa systemu elektro-energetycznego statku

Źródło: [15]



Rys. 5.6 Układ silniko-prądnicy wraz z oprzyrządowaniem

Źródło: [15]



Silniko-prądnica może pracować jako silnik elektryczny po przełączeniu układu do trybu PTI. Pozwala to na wykorzystanie nadmiaru możliwej do wyprodukowania przez elektrownię okrętową energii elektrycznej i wykorzystania jej do wspomaganie silnika głównego silniko-prądnicą będącą pomocniczym źródłem energii. W trybie PTI silnik elektryczny może wykorzystywać dostępną możliwą do wyprodukowania przez elektrownię okrętową moc lub pracować przy pełnym obciążeniu. Wybór trybu pracy realizowany jest przez operatora. Przy maksymalnym obciążeniu silnika elektrycznego, elektrownia okrętowa musi dysponować zapasem mocy nie mniejszym niż 300 kW.

Podczas normalnej eksploatacji prądnica wałowa jest zasprzęglona, aby wykorzystywała energię produkowaną przez prądnicę wałową podczas podróży morskiej. Podczas manewrów (wprowadzanie statku do portu i wyprowadzanie statku z portu) energia elektryczna produkowana jest przez okrętowe zespoły elektroenergetyczne. Podczas podróży morskiej turboprądnica parowa jest załączona do pracy równoległej z prądnicą wałową. W przypadku dużego zapasu mocy możliwej do wyprodukowania przez turboprądnicę parową, prądnica wałowa może być załączona do pracy silnikowej w celu zwiększenia sprawności całkowitej siłowni okrętowej. Układ silniko-prądnicy podczas pracy silnikowej może być zasilany zespołami elektroenergetycznymi z pomocniczymi silnikami spalinowymi, w przypadku, gdy zachodzi konieczność pracy silnika głównego ze zredukowanym obciążeniem lub gdy wymaga się maksymalnego zwiększenia mocy napędowej statku.

## PODSUMOWANIE

Studenci Akademii Morskiej w Szczecinie mają możliwość zaobserwowania interakcji układu energetyczno-napędowego statku i prądnicy wałowej pracującej w różnych warunkach i trybach działania w trakcie ćwiczeń na symulatorze siłowni okrętowej.

Studenci wcielają się w rolę operatorów siłowni i mają za zadanie przygotować silniko-prądnicę do pracy w trybie generatorowym. Stanem wyjściowym jest stan gotowości do wypłynięcia statku z portu (ready for departure), po uruchomieniu silnika należy zasprzęglić i załączyć do pracy prądnicę w trybie PTO. Po rozpędzeniu statku operator ma za zadanie wyłączyć silniko-prądnicę z pracy generatorowej i załączyć ją do pracy silnikowej. Uruchomienie układu PTI powinno być wykonane w trybie mocy dostępnej oraz mocy zadanej przez operatora napędu pomocniczego. Kolejno operatorzy dokonują wyłączenia silniko-prądnicy z pracy. Najważniejsze zmienne symulatora dotyczące pracy silniko-prądnicy oraz zespołów elektroenergetycznych zestawiono w tab. 5.2.

W czasie, kiedy prądnica wałowa załączona jest do pracy generatorowej, a silnik główny osiąga maksymalne obciążenie eksploatacyjne, operatorzy siłowni dokonują wyznaczenia charakterystyk obciążeniowych prądnicy wałowej oraz jednej z prądnic zespołów elektroenergetycznych napędzanych silnikami wysokoprężnymi. Obciążenie elektryczne (moc czynna na zaciskach prądnic) jest stopniowo zwiększana od 0 do 850 kW kolejno dla każdej z prądnic. Operatorzy w tym czasie mają za zadanie sporządzić charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa oraz sprawności prądnicy dla obu wymienionych prądnic.

Tab. 5.2 Wybrane zmienne symulatora dla silniko-prądnicy

| Oznaczenie | Jednostka | Opis zmiennej   | Ograniczenie zmiennej |        |
|------------|-----------|---|-----------------------|--------|
|            |           |   | dolne                 | górne  |
| E02005     | MW        | ME shaft power (to propeller) Moc na wale śrubowym  |                       | 20,0   |
| E02007     | kW        | ME PTI power (from powerturbine)<br>Moc dostarczana przez prądnicę wałową w trybie silnikowym     |                       |        |
| E02006     | kW        | ME PTO power (to shaftgenerator)<br>Moc doprowadzana do prądnicy w trybie generatorowym           |                       |        |
| E06060     | kW        | SG power (active) Moc czynna na zaciskach prądnicy wałowej  | -1250,0               | 1250,0 |
| I06063     | A         | SG current Natężenie prądu generowane przez prądnicę wałową                                       |                       | 2000,0 |
| G02012     | g/kWh     | ME fuel oil consumption (specific) Jednostkowe zużycie paliwa                                     |                       |        |
| X04531     | {0,1,2}   | SG clutch position Stan pracy sprzęgła silniko-prądnicy   | 200,0                 |        |
| X04532     | {0,1}     | SG clutch control local<br>Załączenie sterowania lokalnego silniko-prądnicy                       |                       |        |
| N06971     | obr/min   | SG input shaft Speer<br>Prędkość obrótowa wału wejściowego przekładni                             |                       |        |
| E06972     | kW        | SG input shaft<br>Power Moc na wale wejściowym przekładni   |                       |        |
| X06940     | {0,1}     | SG PTI mode Załączenie silniko-prądnicy do trybu silnikowego                                      |                       |        |
| E06943     | kW        | SG PTI power command (nominal)<br>zadana moc silniko-prądnicy pracującej w trybie silnikowym      |                       |        |
| E06944     | kW        | SG PTI power margin<br>Chwilowy zapas mocy silniko-prądnicy w trybie silnikowym                   |                       |        |
| C06944     | kW        | SG PTI power margin limit<br>Graniczny zapas mocy silniko-prądnicy w trybie silnikowym            |                       |        |
| C06960     | obr/min   | SG clutch max connection Speer<br>Maksymalna prędkość sprzęgła pozwalająca na zasprężenie         |                       |        |
| E03102     | kW        | DG 1 shaft Power<br>Moc użyteczna silnika zespołu elektroenergetycznego nr 1                      |                       |        |
| E06000     | kW        | DG 1 power (active) Moc czynna na zaciskach prądnicy zespołu elektroenergetycznego nr 1           |                       | 900,0  |
| I06003     | A         | DG 1 current Natężenie prądu generowanego przez prądnicę zespołu elektroenergetycznego nr 1       |                       | 1400,0 |
| G03100     | g/kWh     | DG 1 spec FO<br>consumption Jednostkowe zużycie paliwa silnika zespołu elektroenergetycznego na 1 |                       |        |
| E03302     | kW        | DG 2 shaft Power Moc użyteczna silnika zespołu elektroenergetycznego nr 2                         |                       |        |
| E06020     | kW        | DG 2 power (active) Moc czynna na zaciskach prądnicy zespołu elektroenergetycznego nr 2           |                       | 900,0  |
| I06023     | A         | DG 2 current Natężenie prądu generowanego przez prądnicę zespołu elektroenergetycznego nr 2       |                       | 1400,0 |
| G03300     | g/kWh     | DG 2 spec FO consumption Jednostkowe zużycie paliwa silnika zespołu elektroenergetycznego na 2    |                       |        |

Źródło: [3]

Prądnica wałowa w rozwiązaniu zaimplementowanym w symulatorze siłowni okrętowej przystosowana jest do ciągłej równoległej pracy z okrętowymi zespołami elektroenergetycznymi. Panel sterowania zapewnia zasilanie pomocnicze dla przetwor- nika wzbudzenia i wentylatora chłodzącego silnik-prądnicę. Prądnica wałowa nie może pracować w przypadku utraty zasilania pomocniczego. Kompensator synchroniczny jest również uruchamiany na panelu sterowania. Podczas uruchamiania kompensatora synchronicznego, wymagana moc pobierana jest z głównej tablicy rozdzielczej.

Podsumowując, zaprezentowany symulator ma zaimplementowane nowoczesne rozwiązania techniczne spotykane na współczesnych statkach morskich. Stanowi on niezbędne narzędzie dydaktyczne w nauczaniu zasad eksploatacji systemów technicznych, dla których koszty zakupu analogicznego stanowiska laboratoryjnego byłyby bardzo wysokie.

## PODZIĘKOWANIA

Artykuł został sfinansowany z badań statutowych 4/S/IESO/14 pt.: Metody Dia- gnostyczne i efektywna eksploatacja złożonych systemów technicznych w aspekcie profilaktyki uszkodzeń i ochrony środowiska.

## LITERATURA

- 1 „Auxiliary Propulsion System For Two-stroke Engine Plants”. MAN B&W Diesel A/S, Alpha Diesel, Frederikshavn 2001.
- 2 K. Chachulski. *Podstawy napędu okrętowego*. Gdańsk: Wydawnictwo Morskie, 1988.
- 3 L. Chybowski. „Współczesne konstrukcje tłokowych silników okrętowych”. *Przewod- nik metodyczny do ćwiczeń na Symulatorze siłowni okrętowych*. Szczecin: Akademia Morska w Szczecinie, 2009.
- 4 „Engine Room Simulator ERS-L11 MAN B&W-5L90MC VLCC Version MC90-IV. Machinery and Operation Part 1”. *Vessel and Machinery Main Particulars*. Kongsberg Maritime. Doc.no.: SO-1136-D/11-Oct-05.
- 5 „Engine Room Simulator ERS-L11 MAN B&W-5L90MC VLCC Version MC90-IV. Machinery and Operation Part 2”. *Automation & Control*. Kongsberg Maritime. Doc.no.: SO-1136-D/11-Oct-05.
- 6 „Engine Room Simulator ERS L11 5L90MC – VLCC. Operator’s Manual Part 3”. *Machinery & Operation*. Kongsberg Maritime. Doc.no.: SO-1136-D/11-Oct-05.
- 7 „Engine Room Simulator ERS-L11 MAN B&W 5L90MC-VLCC Version MC90-IV”. *Variable List*. Kongsberg Maritime. Doc.no.: SO-1139-C/12-Oct-05.
- 8 M. Giernalczyk, J. Herdzik. „Analiza porównawcza zintegrowanych układów napędo- wych”. *Zeszyty Naukowe* 5(77). Szczecin: Akademia Morska, 2005, s. 237-247.
- 9 R. Laskowski, L. Chybowski, K. Gawdzińska. „An engine room simulator as a tool for environmental education of marine engineers. New Contributions in Information Systems and Technologies”. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 354, Springer International Publishing, 2015, s. 311-322.

- 10 G. Nicewicz, D. Tarnapowicz. „Koncepcje wykorzystania prądnic wałowych w nowoczesnych okrętowych systemach energetycznych”. *Studia i materiały*, 40. PSZW 2011, 283-293.
- 11 *Shaft Generators for the MC and ME Engine*. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen 2004.
- 12 A. Stępiak. „Przegląd i ocena układów napędowych z prdnicą wałową”, *Budownictwo Okrętowe*, nr 8–9, 1984, 347–351.
- 13 R. Śmierzchalski. *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku*. Gdańsk 2004.
- 14 D. Tarnapowicz. „The conception of the use of multi-level inverters in the shipping shaft generator systems of high power”. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 22(94), Szczecin, 2010, pp. 67-70.
- 15 *Wärtsilä marine reduction gears*. Wärtsilä Gears, Wärtsilä Corp., Wintertur 2005.

## WYBRANE ASPEKTY NAUCZANIA ZASAD EKSPLOATACJI OKRĘTOWYCH UKŁADÓW NAPĘDOWYCH Z PRĄDNICAMI WAŁOWYMI

**Streszczenie:** Materiał omawia celowość stosowania prądnic wałowych w okrętowych układach napędowych. Dokonano porównania warunków pracy układu podczas pracy w trybie generatorowym i silnikowym. Omówiono podstawowe sposoby sterowania częstotliwością prądu Elektrycznego generowanego przez te układy napędowe. Omówiono pracę silnikową w rozwiązaniu wspomagającym, awaryjnym oraz kombinowanym. Przedstawiono spotykane na statkach morskich konfiguracje elementów układów napędowych z prądnicami wałowymi. Wskazano na przydatność zastosowania symulatorów siłowni okrętowej w procesie nauczania zasad eksploatacji tego typu układów. Omówiono procedury eksploatacyjne oraz wyszczególniono podstawowe parametry techniczne układu napędowego z prądnicą wałową zaimplementowaną w symulatorze siłowni okrętowej Kongsberg Neptune będącym na wyposażeniu Instytutu Eksploatacji Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie.

**Słowa kluczowe:** kształcenie inżynierów, okrętowy układ napędowy, system energetyczny statku, prądnica wałowa, procedury eksploatacyjne, symulator siłowni okrętowej

## SELECTED ASPECTS OF TEACHING OPERATION PROCEDURES FOR MARINE PROPULSION SYSTEMS WITH SHAFT GENERATORS

**Abstract:** The paper discusses the purpose of application of shaft generators in marine propulsion systems. A comparison of operation conditions is made between the Power Take Off and Power Take In modes. Basic methods of current frequency control generated by these propulsion systems are discussed. Engine operation in booster, emergency and take me home modes are addressed. Configurations of propulsion systems with shaft generators installed on marine ships are presented. The usefulness of application of engine room simulators to teach operation principles of these systems is indicated. Operation procedures are discussed and basic technical parameters are specified for the propulsion system with a shaft generator implemented in engine room simulator Kongsberg Neptune owned by the Institute of Ship Power Plant Operation, Maritime University of Szczecin.

**Keywords:** education of engineers, marine propulsion system, marine power plant, shaft generator, operation procedures, engine room simulator

Dr inż. Leszek CHYBOWSKI  
Akademia Morska w Szczecinie  
Wydział Mechaniczny  
Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych  
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin  
e-mail: L.Chybowski@am.szczecin.pl

Dr inż. Bogusz WIŚNICKI  
Akademia Morska w Szczecinie  
Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu  
Instytut Inżynierii Transportu  
ul. Henryka Pobożnego 11, 70-506 Szczecin  
e-mail: B.Wisnicki@am.szczecin.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 21.01.2015  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 22.04.2015