



IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa

Systemy Wspomagania w Zarządzaniu Środowiskiem

Słowacja, Terchova, Mala Fatra 2007

Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa nr 6/2007

mgr inż. Paweł **PELKA**

Vroon Offshore Services B.V.

Den Helder, Holland

tel. +48510 457581, e-mail: pelasp@poczta.onet.pl

mgr inż. Leszek **CHYBOWSKI**

Akademia Morska w Szczecinie

Wydział Mechaniczny, Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych

ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska

tel. +48091 4809412, e-mail: lchybowski@am.szczecin.pl

ANALIZA OBCIĄŻEŃ SYSTEMÓW ENERGETYCZNO-NAPĘDOWYCH STATKÓW OBSŁUGUJĄCYCH PLATFORMY WYDOBYWCZE

Streszczenie: W materiale przedstawiono analizę obciążeń systemów energetyczno-napędowych dwóch statków. Analizę przeprowadzono dla dwóch jednostek z grupy statków wspierających prace instalacji wydobywczych i przetwórczych ropy oraz gazu z dna morskiego. Przedstawiono opis systemu energetyczno-napędowego. Scharakteryzowano wielkość obciążeń tego systemu w dwóch podstawowych stanach pracy. Dokonano krytycznej analizy uzyskanych wyników pod kątem oceny rozwiązań konstrukcyjnych systemów energetyczno-napędowych analizowanych statków.

PLATFORM SUPPORT VESSELS POWER AND PROPULSION UNITS LOADS ANALYSIS

Summary: The paper presents loads analysis of power and propulsion units installed onboard two ships. Loads of two platform support vessels systems have been performed. Configuration of power and propulsion unit has been described. Loads levels for two basic operation states have been presented. Critical analysis of observed loads in connection to construction design of analysed power and propulsion units has been done.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Jan Kaźmierczak – Politechnika Śląska w Gliwicach

1. WPROWADZENIE

Obecnie statki wspomagające pracę platform wydobywczych (ang. *Platform Supply Vessels*, *Platform Support Vessels* - *PSV*) są jednostkami wyspecjalizowanymi w transporcie materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych. Materiały te używane są na platformach wydobywczych oraz wiertniczych ropy naftowej i gazu [3, 4, 6].

Oprócz parametrów głównych opisujących statki *PSV* tj. długość jednostki, szerokość, zanurzenie, wyporność, nośność, moc napędu głównego, występują charakterystyczne dla tego rodzaju statków parametry tj. powierzchnia otwartego pokładu (m^2), obciążenie powierzchni (kg/m^2), ładowność całkowita pokładu (kg), wysokość bariery ochronnej ładunku na pokładzie głównym (m), pojemność zbiorników przeznaczonych do transportu specjalistycznych ładunków mokrych i suchych (m^3) oraz wydajność systemów przeładunkowych (m^3/h). Niektóre jednostki *PSV* są dodatkowo wyposażane w różnego rodzaju systemy pozwalające na wykorzystanie ich do szczególnych dodatkowych zadań tj: badania sejsmograficzne dna morskiego, ratownictwo morskie, inspekcje, przeglądy, rekonstrukcje, konserwacja istniejącej już infrastruktury podwodnej i nawodnej, stymulacja szybów wydobywczych.

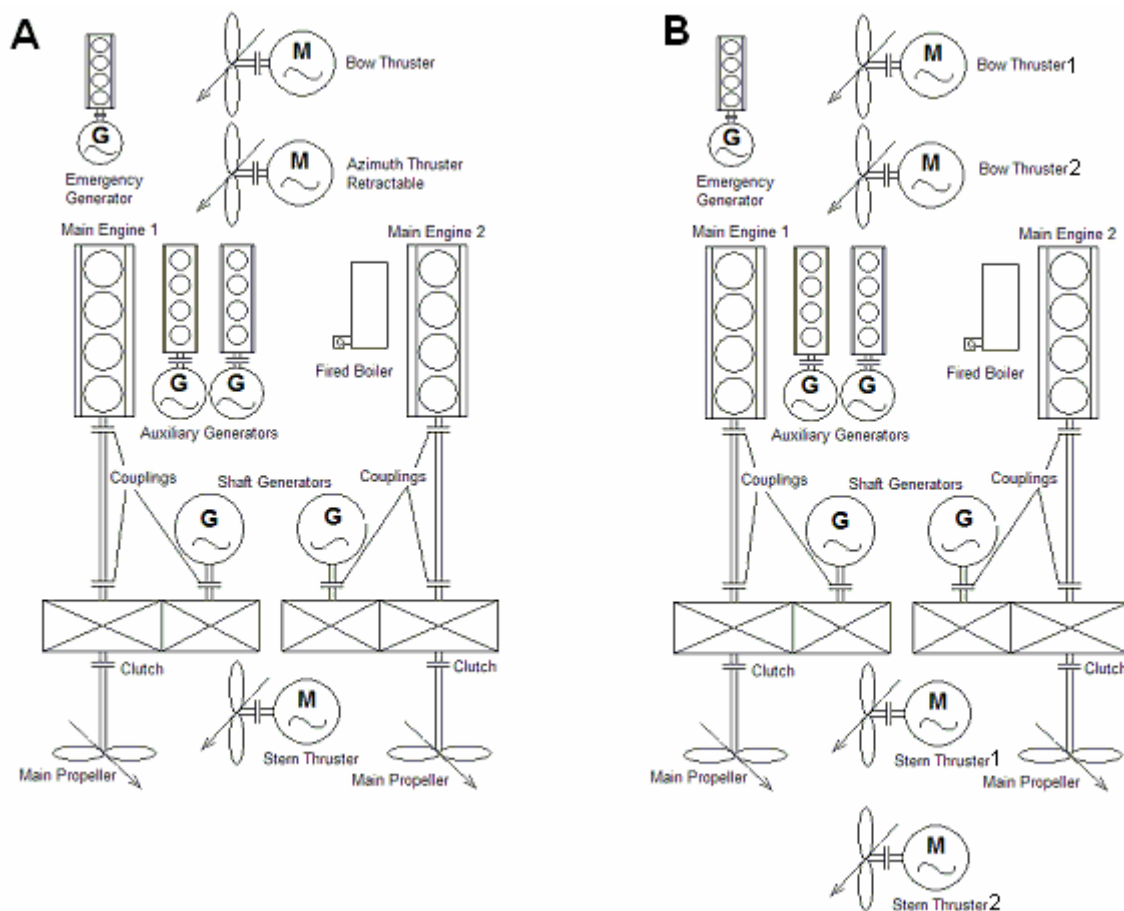
Wymagania dotyczące zdolności manewrowych mają największy wpływ na konfiguracje systemu energetyczno-napędowego. Szeroki asortyment środków transportowanych przez jednostki zaopatrzeniowe wymaga wyznaczenia na jednostce specjalnych przestrzeni, instalowania specjalnych zbiorników oraz systemów transportowych umożliwiających bezpieczny transport i przeładunek tych materiałów. Do ładunków przewożonych przez jednostki *PSV* zalicza się żywność, części zamienne, wodę słodką, paliwo, oleje smarowe, płuczkę wiertniczą i odpady z procesu wiertniczego, glikol, metanol, cement w stanie sypkim itp.

Już w fazie projektowania tego typu jednostek uwzględniane są specyficzne wymagania dotyczące właściwości napędu, zdolności manewrowych i cumowniczych oraz możliwości współdziałania tych systemów w czasie transportu zaopatrzenia z jednostki na platformę i odwrotnie. W materiale podjęto próbę porównania obciążeń systemów energetyczno-napędowych dwóch statków tego typu będących w eksploatacji. Statki w czasie prowadzenia rejestracji obciążeń poddane były podobnym warunkom zewnętrznym. Ponadto jednostki są bardzo zbliżone pod względem konstrukcyjnym, co po uwzględnieniu różnic w rozwiązaniach konstrukcyjnych pozwala na analizę porównawczą obciążeń.

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW ENERGETYCZNO-NAPĘDOWYCH ANALIZOWANYCH JEDNOSTEK PSV

Systemy energetyczno-napędowe analizowanych w materiale statków wspomagających pracę platform (*PSV*) są układami spalinowo-elektrycznymi. Statki te wyposażone są w automatyczne systemy dynamicznego pozycjonowania jednostki (automatyczne utrzymywanie położenia i azymutu) odpowiadające drugiej klasie wyposażenia jednostek dynamicznie pozycjonowanych *DP* [7, 8].

Na rys. 1 przedstawiono rozmieszczenie podstawowych elementów układów energetyczno-napędowych analizowanych statków. Silnikami napędowymi na obu jednostkach są dwa niezależne średnioobrotowe silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym napędzające poprzez przekładnie redukcyjne dwie śruby napędowe o zmiennym skoku. W tab. 1 przedstawiono szczegółową charakterystykę systemów energetyczno-napędowych oraz podstawowych odbiorników energii obu analizowanych statków.



Rys. 1. Schemat układów energetyczno-napędowych (A – statek nr 1, B – statek nr 2)
 Fig. 1. Vessels power and propulsion unit diagram (A – vessel no 1, B – vessel no 2)

Tab. 1. Dane systemów energetyczno-napędowych oraz odbiorników energii
 Power and propulsion units and heavy consumers data

Część składowa systemu:	Jednostka 1	Jednostka 2
Silniki napędu głównego	2x tłokowy silnik spalinowy, czterosuwowy, średnioobrotowy napędzający poprzez przekładnię redukcyjną i sprzęgło śrubę o zmiennym skoku (Rolls-Royce Bergen KRMB-9; moc 2005 kW każdy);	2x tłokowy silnik spalinowy, czterosuwowy, średnioobrotowy napędzający poprzez przekładnię redukcyjną i sprzęgło śrubę o zmiennym skoku (Rolls-Royce Bergen KRMB-9; moc 2005 kW każdy);
prądnice wałowe	2x 3-fazowa; 380-450 V; 60 Hz; 1600 kVA; 1800 obr/min;	2x 3-fazowa; 380-450 V; 60 Hz; 1600 kVA; 1800 obr/min;
pomocnicze zespoły prądotwórcze	2x tłokowy silnik spalinowy czterosuwowy szybkoobrotowy; moc 250kW; napędzający prądnicę 3-fazową; 450 V; 60 Hz; 1800 obr/min;	2x tłokowy silnik spalinowy czterosuwowy szybkoobrotowy; moc 320kW; napędzający prądnicę 3-fazową; 450V; 60 Hz; 1800 obr/min;
awaryjny zespół prądotwórczy	1x tłokowy silnik spalinowy czterosuwowy szybkoobrotowy o mocy 48kW; napędzający prądnicę 3-fazową; 450 V; 60Hz; 1800 obr/min;	1x tłokowy silnik spalinowy czterosuwowy szybkoobrotowy o mocy 65kW; napędzający prądnicę 3-fazową; 450 V; 60 Hz; 1800 obr/min;
kocioł opalany	służący podgrzewaniu wody	służący podgrzewaniu wody

	sanitarnej;	sanitarnej;
śruby napędowe	2x śruba o zmiennym skoku;	2x śruba o zmiennym skoku;
pędniki dziobowe	1x ster strumieniowy o napędzie elektrycznym ze śrubą o zmiennym skoku o mocy 588 kW; 1x pędnik azymutalny o napędzie elektrycznym ze śrubą o zmiennym skoku o mocy 588 kW;	2x ster strumieniowy o napędzie elektrycznym ze śrubą o zmiennym skoku o mocy 588 kW każdy;
pędniki rufowe	1x ster strumieniowy o napędzie elektrycznym ze śrubą o zmiennym skoku o mocy 588 kW;	2x ster strumieniowy o napędzie elektrycznym ze śrubą o zmiennym skoku o mocy 588 kW każdy;
Odbiorniki elektryczne o dużym poborze mocy	1x pompa transportu paliwa (120-200 m ³ /h, 9 bar); 1x pompa transportu wody słodkiej (150-200 m ³ /h, 8 bar); 1x pompa transportu wody pochodzącej z procesu wiertniczego (130-150 m ³ /h, 8 bar); 2x pompy transportu szlamu wiertniczego (75 m ³ /h, 18 bar); 1x pompa transportu oleju utlenionego (180 m ³ /h, 18 bar); 1x pompa transportu solanki (75 m ³ /h, 18 bar); 2x kompresory transportu cementu (40 m ³ /h, 5,6 bar); 1x główny dźwig przeładunkowy (40/20 t; wysięg 10-20 m); 1x pomocniczy dźwig przeładunkowy (10 t; wysięg 8 m);	1x pompa transportu paliwa (200 m ³ /h, 9 bar); 1x pompa transportu wody słodkiej (200 m ³ /h, 9 bar); 1x pompa transportu wody pochodzącej z procesu wiertniczego (150 m ³ /h, 9 bar); 2x pompy transportu szlamu wiertniczego (75 m ³ /h, 18 bar); 1x pompa transportu oleju utlenionego (150 m ³ /h, 9 bar); 1x pompa transportu solanki (75 m ³ /h, 18 bar); 2x kompresory transportu cementu (27 m ³ /min, 5,6 bar); 1x główny dźwig przeładunkowy (40/20 t; wysięg 3-10/3-20 m); 1x pomocniczy dźwig przeładunkowy (3 t; wysięg 2-16 m);

Oprócz wymienionych elementów systemu energetyczno-napędowego, na statku zainstalowane są również inne urządzenia służące utrzymaniu ruchu i spełnianiu zadań (urządzenia pomocnicze siłowni okrętowej tj. pompy, sprężarki, wirówki paliwa i oleju smarowego, wentylatory, urządzenia warsztatowe, windy cumownicze i kotwiczne, aparatura nawigacyjna) oraz umożliwiających pobyt człowieka (oświetlenie, system klimatyzacji i wentylacji, chłodnia prowiantowa, urządzenia gospodarcze, urządzenia systemu sanitarnego).

3. ANALIZA OBCIĄŻEŃ SYSTEMÓW ENERGETYCZNO-NAPĘDOWYCH

Okres analizy obejmuje 31 dni, podczas których jednostki przebywały na morskich polach naftowych. Zarejestrowane obciążenia prądnic wałowych przedstawiono w kW. Obciążenie silników głównych jako udział procentowy rozwijanej mocy względem mocy znamionowej. Parametry rejestrowane były przez komputerowy system operacyjno-informacyjny (*UMAS Automation System*), wspomagający dozór i eksploatację siłowni okrętowej. Oba statki w okresie prowadzenia obserwacji znajdowały się w tym samym rejonie pływania (Zatoka Meksykańska). Podczas eksploatacji statki cały czas przebywały w stanie pracy z systemem dynamicznego pozycjonowania (*SDPJ*) w odległości pozwalającej na transport ludzi i materiałów za pomocą dźwigu statkowego. Po zakończeniu pracy przez ekipę konserwacyjną jednostka oddalała się na bezpieczną odległość (>500m), gdzie oczekiwała do następnego dnia z wyłączonym *SDPJ* i z uruchomionym, co najmniej jednym z dwóch głównych układów napędowych oraz prowadzonymi normalnymi wachtami nawigacyjnymi i w siłowni okrętowej.

Analizując obciążenia systemu energetyczno-napędowego wyróżnić można dwa podstawowe stany pracy:

- praca systemu energetyczno-napędowego z włączonym *SDPJ* i rozdzielonymi szynami Głównych Tablic Rozdzielczych (*GTR*), podczas prac konserwacyjnych instalacji wydobywczo-przetwórczych

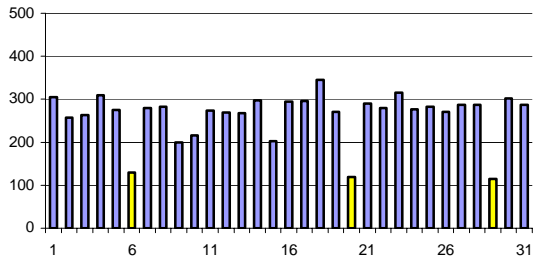
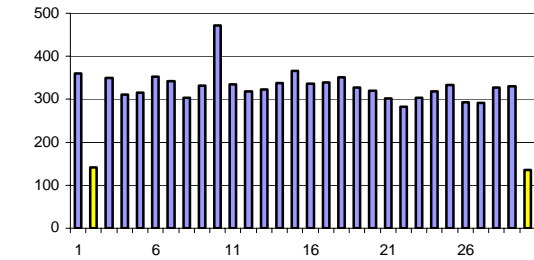
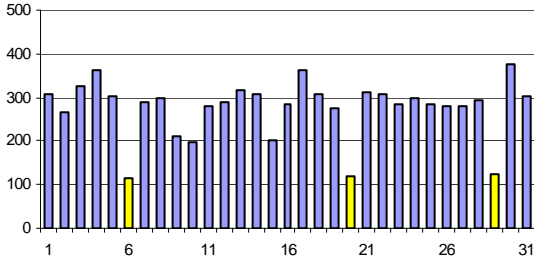
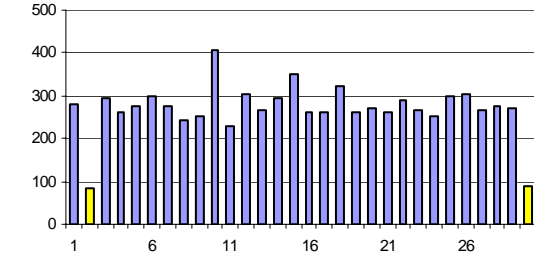
ropy i gazu, pobierania zaopatrzenia z innych jednostek lub transport ludzi pomiędzy platformą a statkiem;

- praca systemu energetyczno-napędowego z wyłączonym *SDPJ* i połączonymi szynami głównymi *GTR* w czasie kilku lub kilkunastogodzinnego oczekiwania pomiędzy kolejnymi okresami prowadzenia prac konserwacyjnych.

Energia elektryczna na potrzeby systemu napędowego oraz innych urządzeń wytwarzana jest przez dwie prądnice wałowe. Pracy pomocniczych zespołów prądotwórczych nie bierze się pod uwagę ze względu na ich znikomy udział w czasie pracy systemu energetyczno-napędowego.

W tab. 2 przedstawiono wykresy słupkowe obciążeń prądnic wałowych analizowanych statków w czasie stanu pracy z wyłączonym *SDPJ*. Z analizy wyłączono następujące doby badawcze (w przypadku jednostki nr 1 doby: 6-stą, 20-stą, 29-tą) oraz (w przypadku jednostki nr 2 doby: 2-gą, 30-tą), których słupki oznaczono kolorem żółtym na wykresach. Wartości obciążeń prądnic wałowych są ponad dwukrotnie niższe od pozostałych, co jest charakterystyczne dla stanu pracy z wyłączonym systemem *SDPJ* w tych dniach

Tab. 2. Moc czynna prądnic wałowych w czasie obserwacji pracy jednostki [kW]
Shaft generator active power during observation of vessels [kW]

	Statek 1	Statek 2
Prądnica 1	 <p>wartość max. – 346 kW wartość min. – 200 kW wartość średnia – 278 kW</p>	 <p>wartość max. – 472 kW wartość min. – 282 kW wartość średnia – 332 kW</p>
Prądnica 2	 <p>wartość max. – 374 kW wartość min. – 198 kW wartość średnia – 293 kW</p>	 <p>wartość max. – 408 kW wartość min. – 231 kW wartość średnia – 282 kW</p>

Wartości maksymalne mocy elektrycznej czynnej dla wszystkich badanych źródeł energii zawierają się w zakresie od 346 kW do 472 kW. Najwyższą wartość 472 kW zarejestrowano na jednostce nr 2, w 10-tej dobie badawczej, dla prądnicy wałowej nr 1. W tym samym dniu dla prądnicy nr 2 zarejestrowano maksymalną wartość obciążenia 408 kW. Wzrost obciążenia o około 170 kW w porównaniu do wartości średnich wyznaczonych dla tych maszyn prądotwórczych spowodowany mógł być pogorszonymi warunkami atmosferycznymi, jednoczesnością pracy wszystkich tunelowych sterów strumieniowych zainstalowanych w

systemie napędowym jednostki oraz głównego dźwigu pokładowego, podwyższonych obciążeń pędników elektrycznych w związku z przyspieszoną zmianą pozycji zadaną przez operatora *SDPJ*. Wartości maksymalne 472 kW i 408 kW zarejestrowane na jednostce nr 2 są wyższe od równoważnych im zarejestrowanych na jednostce nr 1, które wynoszą 346 kW i 374 kW.

Średnie wartości mocy elektrycznej czynnej prądnic obydwóch statków przyjmują następujące wartości:

- dla jednostki nr 1: 278 kW-293 kW;
- dla jednostki nr 2: 282 kW-332 kW.

Minimalne wartości analizowanych obciążeń dla jednostki nr 1 są niemalże jednakowe 200 kW i 198 kW, natomiast dla jednostki nr 2 najniższe odnotowane wartości to 282 kW i 231 kW. Podobnie jak w przypadku wyżej analizowanych wartości obciążeń, również są wyższe o około 80 kW.

Przeprowadzona analiza wartości obciążeń prądnic wałowych obu jednostek uwidacznia wyższe wartości obciążeń dla jednostki nr 2. Powodem tego może być różnica w budowie układów energetyczno-napędowych zaopatrzeniowców, nr 1 dwa stery strumieniowe i jeden pędnik azymutalny (każdy o mocy 588 kW), nr 2 cztery stery strumieniowe (o mocy 588 kW każdy).

Przyjęto maksymalną wartość obciążenia, oznaczoną na wskaźniku obciążenia prądnicy umieszczonym na *GTR* jako 1200 kW, powyżej której prądnica nie powinna być eksploatowana. W tab. 3 przedstawiono wartości względnego obciążenia prądnic wałowych P_{elwz} wyrażoną jako procentowe udziały mocy elektrycznej czynnej P_{elrej} względem mocy nominalnej P_{elnom} równej 1200 kW [1, 2, 5]. Stosując wyznaczone w powyższej analizie wartości obciążeń prądnic wałowych do wartości P_{elwz} nie można jednoznacznie stwierdzić wyższości któregośkolwiek z rozpatrywanych układów energetyczno-napędowych, gdyż wyznaczone w ten sposób wartości P_{elwz} stanowią niespełną połowę wartości P_{elnom} i zawierają się w przedziałach: dla wartości maksymalnych od 29% do 39%; dla wartości minimalnych od 17% do 24%; dla wartości średnich od 23% do 28%.

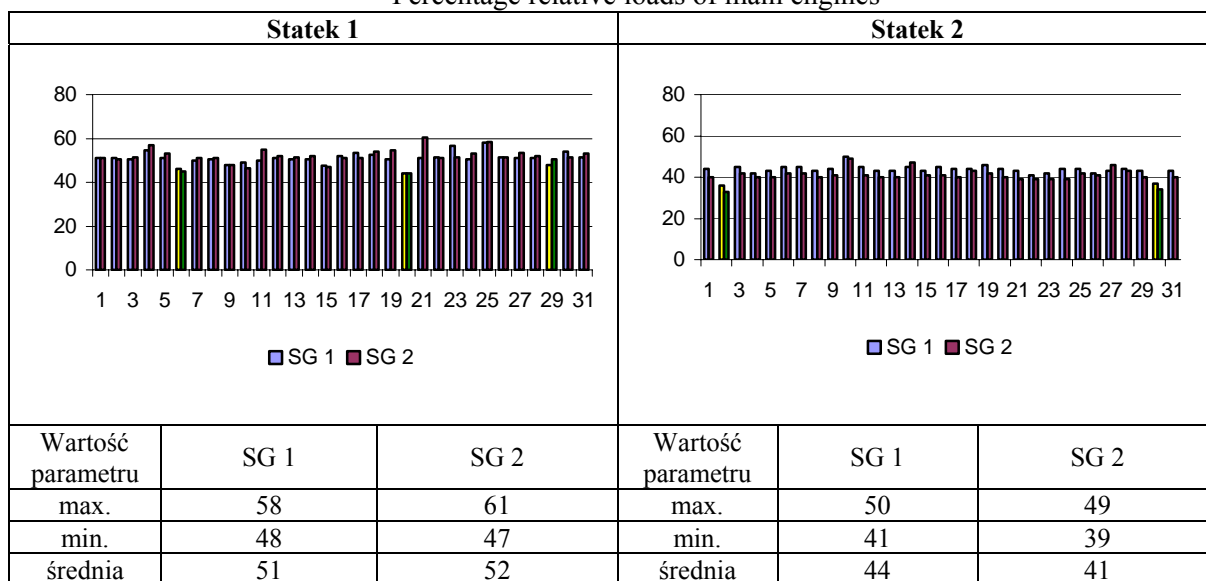
Tab. 3. Względne obciążenia procentowe prądnic wałowych
Percentage relative loads of shaft generators

Udział mocy wzg. Mocy znamionowej [%]	Jednostka nr 1		Jednostka nr 2	
	Prądnica 1	Prądnica 2	Prądnica 1	Prądnica 2
$P_{elwzmax}$	29	31	39	34
$P_{elwzmin}$	17	17	24	19
P_{elwzsr}	23	24	28	24

W prowadzonej analizie zwrócić należy uwagę na bardziej równomierne rozłożenie obciążenia prądnic wałowych jednostki nr 1 (co może wynikać z innych procedur eksploatacyjnych). Różnica średnich wartości obciążeń pomiędzy źródłami dla jednostki to 15 kW (1% średniej wartości względnej mocy elektrycznej P_{elwzsr}), natomiast dla jednostki nr 2 wynosi ona 50 kW (4% średniej wartości względnej mocy elektrycznej P_{elwzsr}).

W tab. 4 przedstawiono zestawienie wartości procentowego obciążenia silników głównych w okresie prowadzonej analizy. Można zaobserwować znaczną różnicę w obciążeniu silników głównych dla kilku dni, które zostały odrzucone we wcześniejszych rozważaniach jako czas pracy systemu energetyczno-napędowego z wyłączonym systemem *SDPJ*. Obciążenia w dniach eksploatacji jednostki bez pracy z systemem *SDPJ* oznaczono w tab. 4 kolorem żółtym.

Tab. 4. Względne obciążenia procentowe silników głównych
Percentage relative loads of main engines



4. UWAGI KOŃCOWE

Trudno jednoznacznie rozstrzygnąć wyższość którejkolwiek z dwóch przedstawionych w referacie konfiguracji systemu energetyczno-napędowego. Opisane w materiale jednostki spełniały zadanie, które polegało na wsparciu prac oceanotechnicznych instalacji przetwórczo-wydobywczych ropy i gazu.

W oparciu o zaobserwowane obciążenia przedstawione w rozdziale 3 stwierdzono, że największy wpływ na różnicę wielkości obciążeń zarówno prądnic wałowych (tab. 2 i 3) jak i silników głównych (tab. 4) ma różnica w ilości głównych odbiorów mocy elektrycznej, którymi na analizowanych statkach są tunelowe stery strumieniowe i pędnik azymutalny (rys. 1).

Z danych przedstawionych w tab. 4 wynika, że maksymalne, minimalne oraz średnie wartości obciążeń silników głównych obu statków przyjmują zbliżone wartości. Większe o około 10% wartości obciążeń chwilowych silników napędu głównego zarejestrowano dla systemu energetyczno-napędowego statku nr 1. Wynika to z większego wykorzystania pędników głównych (dwie nastawne śruby napędowe) przy dynamicznym utrzymywaniu położenia jednostki nr 1, jak również z wspomnianych już wcześniej różnic w budowie systemów energetyczno-napędowych jednostek, gdyż statek nr 1 posiada dwa stery strumieniowe i jeden pędnik azymutalny (każdy o mocy 588 kW), a statek nr 2 wyposażony jest w cztery stery strumieniowe (o mocy 588 kW każdy).

LITERATURA

1. Balcerski A.: Studium projektowania układów energetycznych trawlerów łowczo-przetwórczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej 1991, nr 474, Budownictwo Okrętowe LVIII.
2. Balcerski A., Bocheński D., Układy technologiczne i energetyczne jednostek oceanotechnicznych. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1998.
3. Borysiewicz M., Furtek A., Potemski S., Poradnik ocen ryzyka zwiego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi. Instytut Energii Atomowej, ZPZiOŚ, IEA Świerk 2001.
4. Brandowski A., Współczesne koncepcje bezpieczeństwa statku. Materiały XV Sesji Naukowej Okrętowców "Bezpieczeństwo statku, załogi, ładunku i środowiska morskiego". T. I, PRS, Gdańsk 1992, s. 29-43.
5. Girtler J., Kitowski Z., Kuriata A., Bezpieczeństwo okrętu na morzu. Ujęcie systemowe. WKiŁ, Warszawa 1995.

6. Hann M., Siemionow J. N., Rosochacki W., Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa i niezawodności obiektów górnictwa morskiego. IOiO, Politechnika Szczecińska. Szczecin 1998.
7. Pełka P., Analiza stanów pracy kablowca i obciążeń jego systemu energetycznego jako czynników wpływających na systemy zaopatrywania jednostki w materiały eksploatacyjne. 2004, s.12. Praca magisterska. Politechnika Szczecińska, Wydział Techniki Morskiej.
8. Sześciński J., Stępniański A., Sterowanie i eksploatacja układu napędowego statku ze śrubą nastawną. Notatki z wykładu dla studiów dziennych i zaocznych. Fundacja Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie, s. 38. Szczecin 1999.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Jan Kaźmierczak – Politechnika Śląska w Gliwicach