

Mariusz Górniak
Mariusz Szweda
Akademia Morska w Gdyni

ANALIZA ROZDZIAŁU OBCIĄŻEŃ MIĘDZY RÓWNOLEGLE PRACUJĄCE PRĄDNICY NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH STATKÓW

W artykule omówiono wskaźniki rozdziału mocy czynnej, biernej, prądu oraz wyniki ich pomiaru w systemach wybranych jednostek pływających. Pomiary wykonano podczas normalnej eksploatacji statków. Ze szczególną uwagą odniesiono się do stanów dynamicznych, czyli gwałtownych zmian obciążenia elektrowni okrętowej, mających duży wpływ na poprawną ocenę rozdziału obciążeń między pracującymi równoległe prądnicami. Dotychczas oceniano rozdział obciążeń głównie w stanach ustalonych.

WPROWADZENIE

Okrętowy system elektroenergetyczny zazwyczaj zawiera kilka zespołów prądowców wolnostojących, ale dodatkowo mogą one być wspomagane przez inne źródła, produkujące tańszą energię elektryczną, np. prądnicę wałową lub prądnicę napędzaną turbiną parową, wykorzystującą energię spalin silnika napędowego statku [2, 4]. Liczba prądnic załączonych do pracy równoległej powinna tak być dobrana, aby pokryć aktualne zapotrzebowanie na energię elektryczną, a także zapewnić ze względów bezpieczeństwa wystarczający zapas mocy, szczególnie w warunkach dużych zmian obciążenia, na przykład w czasie manewrów statku. Takie dostosowywanie konfiguracji elektrowni do zmian mocy ma zapewnić ciągłość zasilania, czyli gwarantować większe bezpieczeństwo statku, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów wytwarzania energii elektrycznej. Jeżeli nie zostanie utrzymany odpowiedni zapas mocy w systemie energetycznym, może dojść do zaniku zasilania, które w konsekwencji spowoduje zatrzymanie napędu głównego, a to wiąże się z ryzykiem katastrofy i tym samym z zagrożeniem dla życia ludzkiego oraz środowiska naturalnego. Mając na uwadze aspekt bezpiecznej pracy systemu energetycznego i tym samym bezpieczną eksploatację statku, należy nadzorować rozdział obciążeń pomiędzy pracującymi równoległe źródła energii [1, 11, 12]. Nieproporcjonalny rozdział obciążeń może powodować pozorne przeciążenie jednostek prądowców, przy istniejącym jeszcze zapasie mocy. W takim przypadku przeciążenie jednej z prądnic, przy niedociążeniu pozostałych, skutkuje zadziałaniem układów zabezpieczających. W końcowym efekcie może to doprowadzić do auto-

matycznego wyłączenia przeciążonej prądnicy. W sytuacji, gdy zapas mocy pozostałych prądnic jest niewystarczający do przejęcia obciążenia odłączanej prądnicy, dochodzi do zaniku zasilania w całej sieci elektroenergetycznej (z ang. *black-out*). Zanik zasilania automatycznie powoduje zatrzymanie silnika głównego, ze wszystkimi negatywnymi konsekwencjami dla bezpiecznej eksploatacji statku [6].

Dodatkowo, nieproporcjonalny rozdział obciążeń (głównie mocy czynnej) między pracujące równolegle prądnice znacznie zwiększa jednostkowe zużycie paliwa przypadające na 1 kWh wyprodukowanej energii, co w konsekwencji powoduje wzrost kosztów eksploatacji statku [6].

Aby nie dopuścić do wyżej opisanej sytuacji, towarzystwa klasyfikacyjne (m.in. Polski Rejestr Statków) określiły wskaźniki charakteryzujące rozdział obciążeń między pracującymi zespołami prądotwórczymi: współczynnik rozdziału mocy czynnych, współczynnik rozdziału mocy biernych i współczynnik rozdziału prądów. Parametry te dają nam informacje o stopniu obciążenia połączonych równolegle prądnic, a przy proporcjonalnym rozdziale zmniejszają ryzyko zaniku zasilania, czyli zapewniają większe bezpieczeństwo statku. Dopuszczalne wartości ww. wskaźników przedstawiono w tabeli 1 [10].

Tabela 1

Dopuszczalne wartości wskaźników rozdziału obciążeń wg PRS [10]

Wskaźnik	Dopuszczalna wartość [%]
Rozdział obciążeń czynnych	15
Rozdział obciążeń biernych	10
Rozdział prądów	15

W czasie eksploatacji statku wartości współczynników rozdziału obciążeń się zmieniają. Jak wcześniej wspomniano, wskazane jest, aby zachodził równomierny rozdział mocy między pracującymi prądnicami, czyli wskaźniki przyjmowałyby wartości minimalne. Jednak jak pokazują opisane w artykule przypadki, sytuacja taka zdarza się rzadko. Szczególnie w stanach dynamicznych wskaźniki rozdziału mocy i prądów przyjmują znaczne wartości, niekiedy przekraczające wartości dopuszczalne, w relatywnie długim czasie.

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, opracowane na podstawie zarejestrowanych przebiegów napięć i prądów na trzech statkach, w czasie ich normalnej eksploatacji: manewry i podróż morska. Dla każdego przypadku wyznaczono wskaźniki rozdziału obciążeń δP , δQ , δI i poddano je analizie pod kątem poprawności oceny rozdziału obciążeń między pracującymi równolegle prądnicami. Zwrócono szczególną uwagę na stany dynamiczne, czyli konsekwencje gwałtownych zmian obciążeń elektrowni, w czasie których zdarza się nierównomierny rozdział mocy, często niewidoczny w codziennej eksploatacji elektrowni, a zaobserwowany na zarejestrowanych przez autorów przebiegach.

1. DEFINICJE WSKAŹNIKÓW ROZDZIAŁU OBCIĄŻEŃ

Dla poprawy bezpieczeństwa na statkach towarzystwa klasyfikacyjne zdefiniowały wskaźniki opisujące ryzyko utraty ciągłości zasilania przez nadmierne przeciążenie jednego z pracujących równoległe zespołów prądotwórczych, wynikające z nieproporcjonalnego rozdziału mocy. Współczynniki rozdziału mocy czynnej i -tej prądnicy δP_i i mocy biernej i -tej prądnicy δQ_i pracującej równoległe określone są zależnościami [10, 13]:

$$\delta P_i = \frac{P_i - \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^k P_i}{P_n} \cdot 100 \quad [\%], \quad (1)$$

$$\delta Q_i = \frac{Q_i - \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^k Q_i}{Q_n} \cdot 100 \quad [\%], \quad (2)$$

gdzie:

- P_i, Q_i – obciążenie czynne (bierne) i -tej prądnicy,
- P_n, Q_n – znamionowe obciążenie czynne lub bierne prądnicy o największej mocy pracującej równoległe albo znamionowe obciążenie czynne lub bierne rozpatrywanej prądnicy, jeżeli jej znamionowe obciążenie czynne jest mniejsze niż 0,6, a bierne mniejsze niż 0,4 znamionowego obciążenia czynnego lub biernego prądnicy o największej mocy pracującej równoległe,
- k – liczba pracujących równoległe prądnic,
- α_i – współczynnik proporcjonalności zależny od liczby i mocy współpracujących zespołów prądotwórczych ($\alpha_i = 0,5$ dla $k = 2$ i równych mocach współpracujących zespołów).

Innym, istotnym parametrem bezpośrednio nawiązującym do rozdziału mocy między pracujące równoległe prądnice jest współczynnik rozdziału prądów:

$$\delta I_i = \frac{I_i - \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^k I_i}{I_n} \cdot 100 \quad [\%], \quad (3)$$

gdzie:

- I_n – wartość znamionowa prądu prądnicy o największej mocy pracującej równoległe,
- k – liczba pracujących równoległe prądnic,
- α_i – współczynnik proporcjonalności zależny od liczby i prądów znamionowych współpracujących zespołów prądotwórczych ($\alpha_i = 0,5$ dla $k = 2$ i równych prądach znamionowych współpracujących zespołów),
- I_i – wartość skuteczna zastępcza prądu i -tej prądnicy obliczana z zależności [13]:

$$I_i = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2}{3}} \quad [A], \quad (4)$$

gdzie: I_1, I_2, I_3 – odpowiednie prądy fazowe.

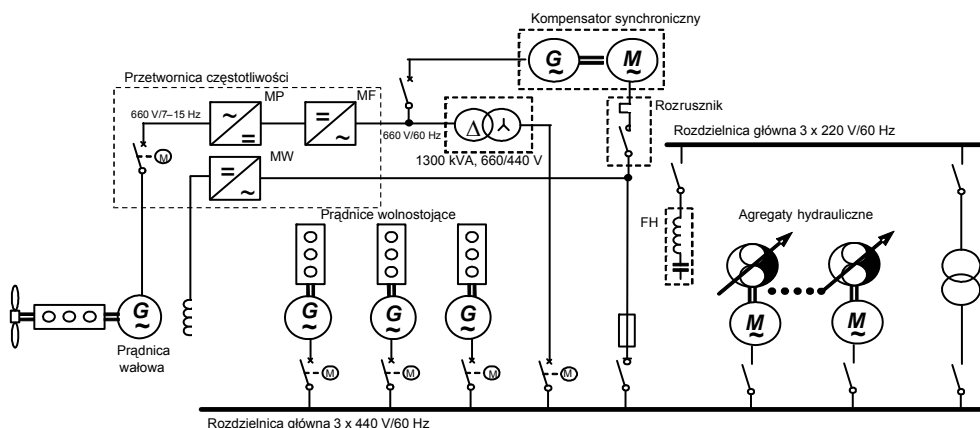
2. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

2.1. Charakterystyka obiektów badań

Badania rozdziału obciążeń między pracującymi równolegle zespołami prądotwórczymi przeprowadzono na następujących jednostkach pływających: m/v „Stolt Excellence” (chemikaliowiec), m/v „IMOR” (statek naukowo-badawczy, katamaran) oraz na okręcie wojennym. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę ich systemów elektroenergetycznych [8, 9, 11].

2.1.1. Statek m/v „Stolt Excellence”

M/v „Stolt Excellence” to statek z typowym okrętowym systemem elektroenergetycznym $3 \times 440 \text{ V}/60 \text{ Hz}$, wyposażonym w trzy prądnice wolnostojące napędzane silnikami Diesla (DG) o mocy znamionowej $1062 \text{ kV}\cdot\text{A}$ (850 kW , 637 kvar) każda i jedną prądnicę wałową (SG) o mocy $1187 \text{ kV}\cdot\text{A}$ (950 kW , $712,5 \text{ kvar}$), napędzaną za pomocą wału silnika głównego. Układ elektrowni z wymienionymi elementami pokazano na rysunku 1.



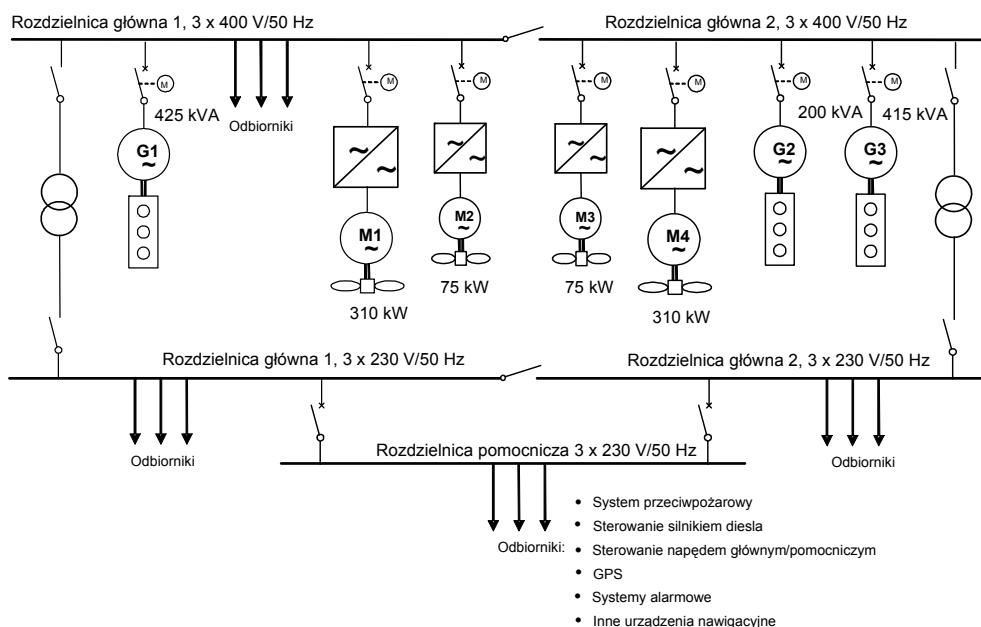
Rys. 1. Schemat elektrowni jednostki pływającej m/v „Stolt Excellence”: MP – prostownik, MF – falownik, MW – układ wzbudzenia prądnicy wałowej, FH – filtr harmonicznych [oprac. własne na podst. dokumentacji technicznej statku]

Prądnica wałowa napędzana była bezpośrednio z wału korbowego silnika głównego i była wykorzystywana tylko w czasie rejsu. Aby uzyskać stałą częstotliwość napięcia wytwarzanego przez prądnicę wałową przy zmieniającej się prędkości obrotowej silnika głównego ($95\text{--}115 \text{ obr}/\text{min}$) oraz możliwość pracy równoległej z pozostałymi prądnicami DG, zastosowano przetwornicę energoelektroniczną. Jest to rozwiązanie powszechnie stosowane na statkach.

2.1.2. Statek m/v „IMOR”

M/v „IMOR” to katamaran z napędem elektrycznym. Napęd statku stanowią dwa silniki elektryczne o mocy 310 kW każdy, zasilane za pośrednictwem przetworników energoelektronicznych. W celu zwiększenia manewrowości katamaran dodatkowo jest wyposażony w dwa pędniki dziobowe o mocy 75 kW każdy.

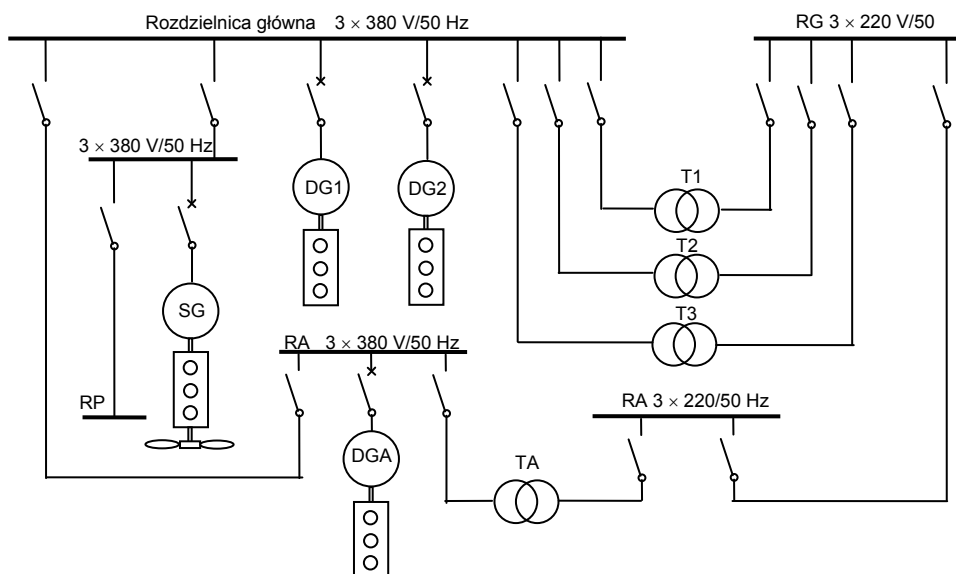
Jako źródło energii statek ma trzy generatory o mocach: 425 kV·A (340 kW, 255 kvar), 415 kV·A (332 kW, 249 kvar) i 200 kV·A (160 kW, 120 kvar) ($3 \times 400 \text{ V}/50 \text{ Hz}$). Układ elektrowni, z wymienionymi elementami, pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat elektrowni jednostki pływającej m/v „IMOR”
[oprac. własne na podst. dokumentacji technicznej statku]

2.1.3. Okręt wojenny

Jednostka ta posiada system elektroenergetyczny $3 \times 380 \text{ V}/50 \text{ Hz}$, wyposażony w dwie prądnice wolnostojące napędzane silnikami Diesla (DG) o mocy znamionowej 500 kV·A (400 kW, 300 kvar) każda i jedną prądnicę wałową (SG) o mocy 505 kV·A (404 kW, 303 kvar), napędzaną za pomocą wału silnika głównego. Układ elektrowni, z wymienionymi elementami, pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat elektrowni okrętu wojennego (DGA – prądnica awaryjna)
[oprac. własne na podst. dokumentacji technicznej statku]

2.2. Wyniki badań

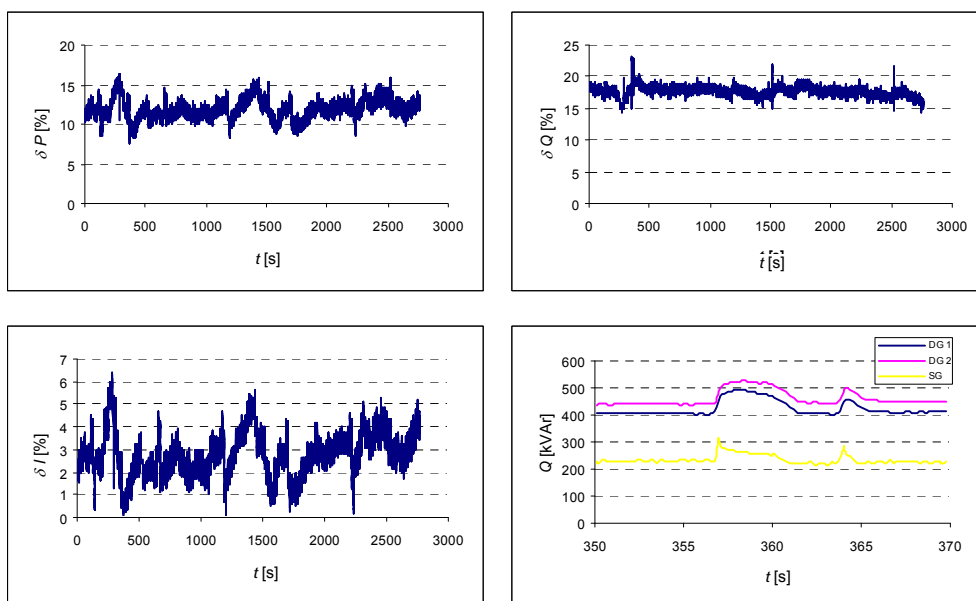
Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem karty akwizycji danych PCI 703-16/A firmy Eagle Technology i komputera PC. Do pomiarów zastosowano częstotliwość próbkowania równą 10504 Hz i równoległą rejestrację wszystkich kanałów pomiarowych (trzech napięć i sześciu prądów). Separacja galwaniczna sygnałów napięciowych odbywała się za pomocą pomiarowych wzmacniaczy izolacyjnych ISO 124 firmy Burr Brown. W przypadku sygnałów prądowych zastosowano sondy prądowe LEMflex RR3030. Częstotliwość odcięcia filtrów antyaliasingowych była równa 3,5 kHz.

Sterowanie zestawem pomiarowym odbywało się za pomocą dedykowanego, autorskiego oprogramowania, zrealizowanego w środowisku LabView. Próbkki sygnałów były zapisywane na twardym dysku komputera PC i przetworzone w trybie off-line, również za pomocą dedykowanego oprogramowania, opracowanego w środowisku LabView. Ostateczną analizę i wizualizację wyników pomiarów przeprowadzono w programie Excel. Wszystkie wskaźniki były wyznaczane dla okna pomiarowego równego 10 okresom, z wyjątkiem statku m/v „Stolt Excellence”, gdzie zastosowano okno pomiarowe 12 okresów (częstotliwość sieci 60 Hz).

Poniżej przedstawiono wyniki badań współczynników rozdziału mocy czynnej i biernej oraz prądu, uzyskane w różnych stanach eksploatacyjnych ww. jednostek oraz przy różnych konfiguracjach ich elektrowni (np. rejs w morzu, manewry w porcie, praca generatorów w konfiguracji dwóch prądnic lub trzech prądnic pracujących równolegle).

Na rysunkach 4–6 przedstawiono przebiegi współczynnika rozdziału mocy czynnej δP , mocy biernej δQ , prądu δI oraz przykładowe przebiegi zmian mocy czynnych i biernych, pracujących prądnic, obserwowane na poszczególnych jednostkach. W tabelach 2–4 zawarto minimalne (min.), średnie (avg) oraz maksymalne (max.) wartości wskaźników, wyznaczone na podstawie wyżej wspomnianych przebiegów δP , δQ , δI . Kolorem szarym zaznaczono te komórki tablic, które zawierają przekroczenia dopuszczalnych wartości, zalecanych przez przepisy towarzystw klasyfikacyjnych.

Zarejestrowane przebiegi na jednostce m/v „Stolt Excellence” pokazują, że istnieje na niej nieproporcjonalny rozdział obciążeń między pracującymi równoległe prądnicami (rys. 4). Przekroczone zostały dopuszczalne przez towarzystwa klasyfikacyjne wartości współczynników rozdziału mocy czynnej δP i biernej δQ , a ich maksymalne, uzyskane w czasie pomiarów wartości osiągnęły poziom odpowiednio: 16,3% oraz 23% (tab. 2). Współczynnik rozdziału prądów pozostawał na niskim poziomie (dużo poniżej wartości dopuszczalnej przez przepisy), jednak w stanach dynamicznych można zaobserwować jego stosunkowo duże zmiany w stosunku do wartości średniej (maksymalna zarejestrowana wartość osiągnęła poziom 6,4%) (tab. 2).



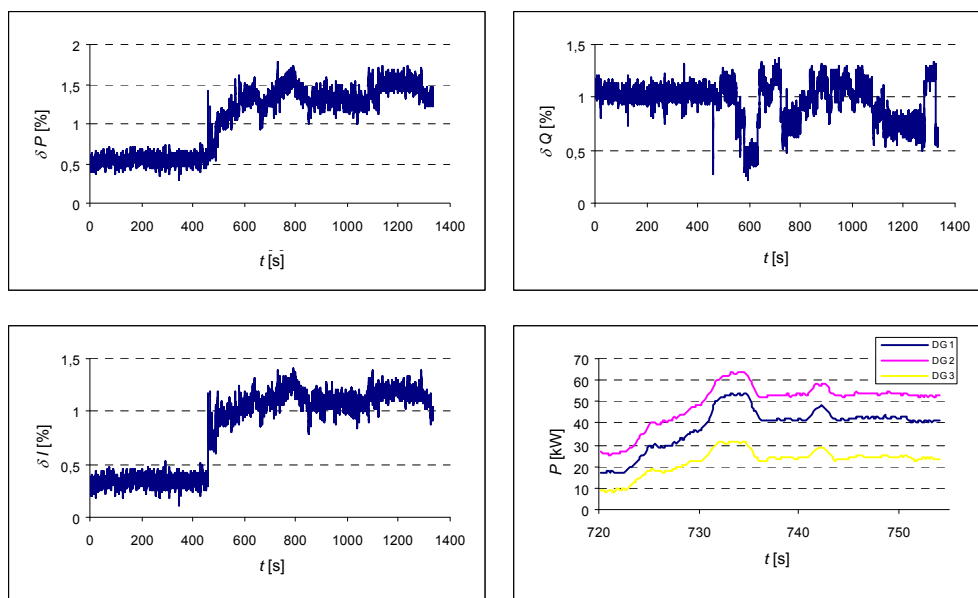
Rys. 4. Zmiany współczynnika rozdziału: mocy czynnej δP , mocy biernej δQ , prądów δI oraz przykładowe zmiany obciążenia mocą bierną prądnic jednostki m/v „Stolt Excellence” (rejs w morzu) (DG – prądnica wolnostojąca, SG – prądnica wałowa) [oprac. własne]

Tabela 2

Zmiany wskaźników rozdziału mocy i prądów jednostki m/v „Stolt Excellence”

δP [%]			δQ [%]			δI [%]		
min.	avg	max.	min.	avg	max.	min.	avg	max.
7.5	11.9	16.3	14.4	17.7	23.0	0.1	2.8	6.4

Wyżej opisany przypadek to przykład celowego przekroczenia dopuszczalnych wartości współczynników rozdziału obciążenia czynnego i biernego, w celu poprawy ekonomicznej efektywności eksploatacji elektrowni. Do pracy równoległej ze standardowymi prądnicami załączono tutaj prądnicę wałową, która wytwarza tańszą energię elektryczną. Prądnica wałowa została obciążona w większym stopniu mocą czynną, a w mniejszym mocą bierną, natomiast pozostałe prądnice wolnostojące dokładnie odwrotnie: w mniejszym stopniu mocą czynną, a w większym mocą bierną (rys. 4) – zapewniło to proporcjonalny rozptył prądów. Tego typu zabieg stosuje się podczas podróży morskiej, kiedy można wykorzystać prądnicę wałową, w celu obniżenia kosztów produkcji energii elektrycznej. Jeśli dojdzie do odłączenia takiej prądnicy, a statek znajdować się będzie na otwartym morzu, to ryzyko katastrofy będzie minimalne.



Rys. 5. Zmiany współczynnika rozdziału: mocy czynnej δP , mocy bierniej δQ , prądów δI oraz przykładowe zmiany obciążenia mocą czynną prądnic jednostki m/v „IMOR” (manewry w porcie) [oprac. własne]

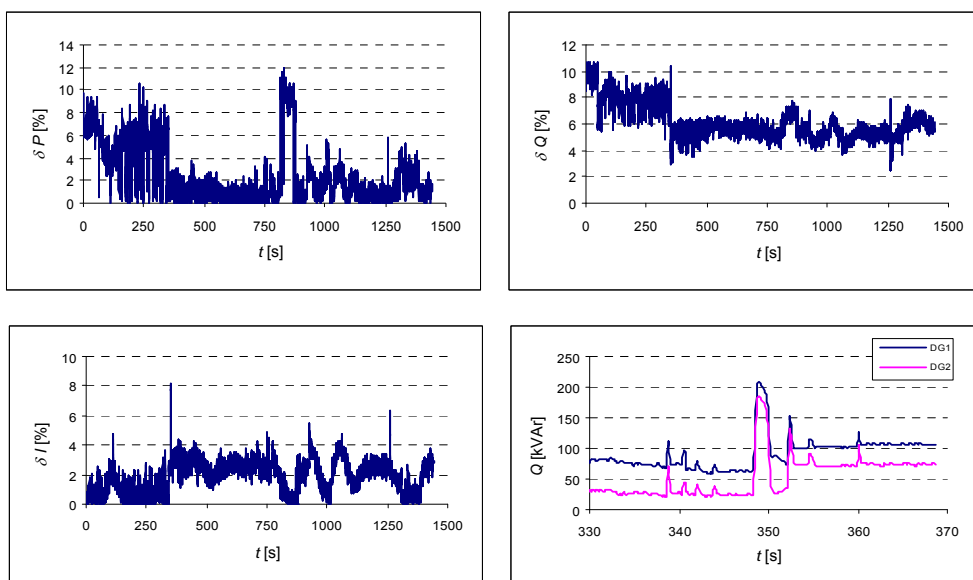
Analizując przebiegi zarejestrowane na jednostce m/v „IMOR”, można stwierdzić, że nie występują istotne nieproporcjonalności w rozdziale mocy i prądów (rys. 5). Zarówno w stanach statycznych, jak i dynamicznych współczynniki δP ,

δQ , δI przyjmowały wartości mieszczące się w zakresie dopuszczalnym przez przepisy towarzystw klasyfikacyjnych. Wartości maksymalne wszystkich trzech rozważanych wskaźników, uzyskane w czasie pomiarów, nie przekraczały 2% (tab. 3). Na rysunku 5 pokazano przykładowe zmiany obciążenia mocą czynną pracujących równoległe prądnic.

Tabela 3

Zmiany wskaźników rozdziału mocy i prądów jednostki m/v „IMOR”

δP [%]			δQ [%]			δI [%]		
min.	avg	max.	min.	avg	max.	min.	avg	max.
0.3	1.1	1.8	0.2	1.0	1.4	0.1	0.8	1.4



Rys. 6. Zmiany współczynnika rozdziału: mocy czynnej δP , mocy biernej δQ , prądów δI oraz przykładowe zmiany obciążenia mocą bierną prądnic okrętu wojennego (manewry w porcie) [oprac. własne]

Tabela 4

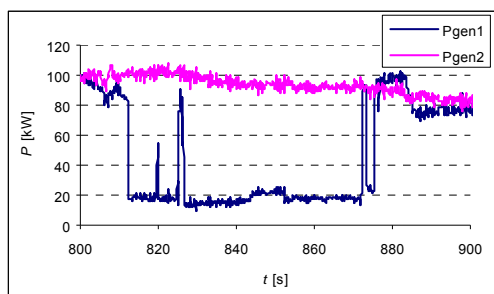
Zmiany wskaźników rozdziału mocy i prądów okrętu wojennego

δP [%]			δQ [%]			δI [%]		
min.	avg	max.	min.	avg	max.	min.	avg	max.
0.0	2.6	12.0	2.5	6.2	10.7	0.0	1.9	8.1

Wskaźniki rozdziału obciążeń przyjmują niskie wartości, co daje dużą pewność zasilania, jednak należy zaznaczyć, że praca trzech generatorów (rys. 5) z niewielkim obciążeniem jest nieekonomiczna (przy małym obciążeniu generato-

rów wzrasta jednostkowe zużycie paliwa). Jest to charakterystyczny stan pracy elektrowni stosowany w czasie manewrów, a więc w tym wypadku czynniki ekonomiczne odchodzą na dalszy plan, a szczególnego znaczenia nabiera bezpieczeństwo statku.

W przypadku ostatniej badanej jednostki, tj. okrętu wojennego, można zaobserwować wielokrotne przekroczenie wartości dopuszczalnej współczynnika rozdziału mocy biernej z maksymalną uzyskaną wartością 10,7% (rys. 6, tab. 4). Nieproporcjonalny rozdział mocy biernej ma miejsce zarówno w stanach ustalonych, jak i w stanach dynamicznych. Na rysunku 6 pokazano przykładowe przebiegi zmian obciążenia prądnic mocą bierną. Pozostałe wskaźniki, tj. δP i δI , mieściły się w zakresie dopuszczalnym przez przepisy (tab. 4), jednak należy zwrócić uwagę na ich wzrost podczas dużych zmian obciążenia, gdzie osiągają wówczas znaczący poziom odpowiednio 12% i 8,1%. Uzyskane wartości tych wskaźników zmuszają do bardziej szczegółowej analizy rozdziałów mocy i prądów w czasie większego zapotrzebowania odbiorników na energię elektryczną, ponieważ w tym stanie pracy nieproporcjonalny rozdział obciążeń nabiera szczególnego znaczenia dla bezpieczeństwa statku.



Rys. 7. Przykładowe zmiany obciążenia mocą czynną dwóch zespołów prądowców na okręcie wojennym [oprac. własne]

Na rysunku 7 przedstawiono stan pracy równoległej prądnic w czasie wzrostu współczynnika δP do wartości 12%. Widać na nim sytuacje, w której przez dłuższy okres (ok. 810–875 sekund rejestracji) obciążenie przejmuje jedna prądnica, a dopiero po pewnym czasie następuje wyrównanie obciążeń między nimi. Jest to przykład złej nastawy regulatorów prędkości obrotowej silników napędowych prądnic, szczególnie widocznej w stanach dynamicznych zmian obciążeń. Należy dodać, że podobne sytuacje wielokrotnie pojawiały się podczas rejestracji przebiegów.

Wyniki badań pokazują, że zdarzają się nieprawidłowości w rozdziale mocy między prądnicami pracującymi równolegle. Ma to miejsce szczególnie w stanach dynamicznych, czyli w okresie załączania dużych odbiorników (gwałtownych zmian obciążenia prądnic). Współczynnik rozdziału mocy czynnej δP niejednokrotnie przekroczył wartość dopuszczalną na jednostce m/v „Stolt Excellence” (wartość dopuszczalna wg PRS: 15%). Na tej samej jednostce i na okręcie wojennym można zaobserwować przekroczenie dopuszczalnej wartości współczynnika

rozdziału mocy biernej δQ (wartość dopuszczalna wg PRS: 10%). Współczynnik rozdziału prądów obciążeń δI nie przekroczył wartości dopuszczalnych (przepisy PRS dopuszczają δI nie większy niż 15%), jednak widać jego gwałtowne wzrosty podczas zmian obciążenia. Należy także zwracać uwagę na jego wartości, aby nie dopuścić do pozornego przeciążenia cieplnego prądnic i ryzyka odstawienia jakiegokolwiek z pracujących równoległe zespołów prądotwórczych.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki uzasadniają konieczność oceny rozdziału obciążeń między pracujące równoległe prądnice. Informacja o wartościach odpowiednich wskaźników może zostać wykorzystana do szczegółowej oceny poprawności nastaw regulatorów napięcia i prędkości obrotowej.

Podczas monitoringu wskaźników rozdziału obciążeń pracujących równoległe prądnic autorzy artykułu proponują ich rejestrację w stanach nie tylko statycznych, ale i dynamicznych. Zazwyczaj problem jest niewidoczny w stanach ustalonych, a dopiero ujawnia się w trakcie dużych zmian obciążeń elektrowni. Poza tym proces zachodzi stosunkowo szybko i przekroczenia wartości dopuszczalnych wskaźników rozdziału mocy mogą być niewidoczne przy normalnej obserwacji mierników na rozdzielnicę głównej.

Inspektorzy towarzystw klasyfikacyjnych zazwyczaj badają rozdział obciążeń w stanach statycznych. Powinni jednak rozważyć badania bardziej szczegółowe, z zastosowaniem rejestracji podczas normalnej eksploatacji statku, a zwłaszcza w tych stanach pracy, kiedy zalecane jest zwiększone bezpieczeństwo eksploatacji statku, np. manewry. Z pewnością uniemożliwia im to brak odpowiedniego sprzętu, który pozwoliłby na rejestrację i szybką ocenę parametrów rozdziału obciążeń w różnych stanach eksploatacyjnych statku. Biorąc pod uwagę bezpieczną i efektywną pracę statku, jest to ważny problem, który należy rozwiązać w najbliższym czasie.

W tym celu w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej pod kierownictwem prof. Janusza Mindykowskiego jest aktualnie realizowany projekt badawczo-rozwojowy, w którego ramach zostanie wykonany estymator-analizator jakości energii elektrycznej, z funkcją pomiaru rozdziału mocy i prądów między pracującymi równoległe zespołami prądotwórczymi. Przyrząd ma być przeznaczony do sieci okrętowych i ma wspomagać inspektorów towarzystw klasyfikacyjnych w ocenie i w podejmowaniu decyzji dotyczących spełnienia przez statek warunków bezpiecznej eksploatacji.

LITERATURA

1. Czarkowski D., Mindykowski J., Olesz M., Szmit E., Szweda M., *Electric Power Quality in Isolated Systems – Requirements and Examples of Analysis*, 5th International Conference-Workshop – CPE, Gdańsk 2007.
2. Hashad M., Mindykowski J., *New algorithm for estimation of correctness of active and reactive power distribution among generating sets operating in parallel*, Przegląd Elektrotechniczny, Sigma-Not, 2008, nr 11.
3. IEEE Std. 1459-2000, IEEE trial-use standard, Definition for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balance or unbalanced conditions.
4. Mindykowski J., *Dlaczego problem jakości energii elektrycznej w systemach okrętowych zasługuje na szczególną uwagę?*, konferencja Elektrotechnika – Prądy Niesinusoidalne EPN, Lubiatów 2004.
5. Mindykowski J., Szmit E., Tarasiuk T., Czarkowski D., *Jakość energii elektrycznej na jednostkach pływających*, Napędy i Sterowanie 9(89) VIII.
6. Mindykowski J., Tarasiuk T., *Jakość energii elektrycznej a ekonomiczna eksploatacja okrętowych systemów technicznych*, Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej JUEE, 1998, t. 4, nr 2, s. 33–39.
7. Mindykowski J., Tarasiuk T., Szmit E., Czarkowski D., *Diagnostyka izolowanego systemu elektroenergetycznego na przykładzie jednostki pływającej*, Diagnostyka, 2006, nr 2(38), Wydział Nauk Technicznych PAN.
8. Mindykowski J., Tarasiuk T., Szweda M., *Raport z badań jakości energii elektrycznej na statku „IMOR”*, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2005.
9. Mindykowski J., Tarasiuk T., Szweda M., *Raport z badań jakości energii elektrycznej na statku wojennym*, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2004.
10. Polski Rejestr Statków, *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich, część VIII, Instalacje elektryczne i systemy sterowania*, PRS, Gdańsk 2007.
11. Szweda M., *Rozdział mocy – jako parametr jakości energii elektrycznej w sieciach okrętowych*, IV Krajowe Sympozjum Kompatybilność Elektromagnetyczna w Elektrotechnice i Elektronice, EMC'05, Łódź, Zeszyt Elektryka 2005, nr 103, s. 121–128.
12. Szweda M., *Wybrane zagadnienia jakości energii elektrycznej na statkach morskich*, Kongres SEP, Warszawa 2009.
13. Tarasiuk T., *Ocena jakości energii elektrycznej w okrętowych systemach elektroenergetycznych z wykorzystaniem procesorów sygnałowych*, Prace Naukowe Akademii Morskiej, Gdynia 2009.
14. Wyszowski S., *Elektrotechnika okrętowa*, tom 1, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1991.

THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION LOAD BETWEEN GENERATORS WORKING IN PARALLEL IN CHOSEN SHIPS' SYSTEMS

Summary

In the paper were discussed the active power, reactive power, current distribution indexes and its measurement results in chosen ships' systems. The measurements were carried out during a normal ships operation. Particularly, dynamic states were pointed out in this paper. Presented sudden load changes in ship's power supply system have significant influence for correct evaluation of distribution load between generators working in parallel. Until now, the evaluations of distribution load were carried out, mainly in steady states.