



II Międzynarodowa Konferencja Naukowa
**Systemy Wspomagania
w Zarządzaniu Środowiskiem**
Słowacja, Zuberec 2005

Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa nr 7/2005

Mgr inż. Leszek CHYBOWSKI
Przedsiębiorstwo Armatorskie „Peter Döhle”
Hamburg, Niemcy

Mgr inż. Monika KIJEWSKA
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii
Zakład Matematyki
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska
tel.: +4891 480 95 75
e-mail: mkijewska@o2.pl

Mgr inż. Grzegorz NICEWICZ
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nauk Podstawowych Technicznych
Zakład Mechaniki Technicznej i Rysunku
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska
tel. +4891 480 94 20
e-mail: nicze1@wp.pl

ANALIZA OBCIĄŻEŃ AUTONOMICZNYCH URZĄDZEŃ PRĄDOTWÓRCZYCH SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH OBIEKTÓW PŁYWAJĄCYCH

Streszczenie: Przedstawiono rozkłady obciążeń autonomicznych zespołów prądotwórczych elektrowni statku transportowego. Jako obiekt do analizy wybrano elektrownię drobnicowca. Analizę obciążeń ograniczono tylko do obciążeń rejestrowanych podczas przebywania jednostki w porcie. Całkowity czas rejestracji obciążeń trwał 42 doby.

LOAD ANALYSIS OF AUTONOMOUS MARINE POWER GENERATING SYSTEMS

Summary: The load distribution of marine autonomous power station is presented. The power station of a cargo vessel was selected for the analysis. The load analysis concerns only those recorded in the port. The operational data were collected on a cargo vessel during 42 days.

1. Wstęp

Statek transportowy wraz z załogą stanowi obiekt oceanotechniczny, którego podstawowym zadaniem jest przewóz ładunku zgodnie z założonym planem. Struktura takiego obiektu oceanotechnicznego jest bardzo złożona i można w niej wyszczególnić wiele podsystemów umożliwiających realizację podstawowej funkcji stawianej przed jednostką transportową. Jednym z najważniejszych podsystemów jest elektrownia okrętowa, będąca częścią całego systemu energetyczno-napędowego statku. Z reguły stanowią ją wyłącznie samodzielne zespoły prądowórcze, ale istnieje ewentualność korzystania z dodatkowych prądnic wałowych. Ciągła produkcja energii elektrycznej zapewnia prawidłowe funkcjonowanie układu napędowego statku, urządzeń nawigacyjnych, przeładunkowych i ogólnookrętowych oraz odpowiednie warunki socjalno-bytowe załogi.

Bez ciągłej, nieprzerwanej dostawy energii elektrycznej nie można sprawować kontroli nad obiektem oceanotechnicznym. Wystąpienie przerwy w dostawie energii elektrycznej, tzw. *black-out'u*, powoduje chwilową utratę przez załogę możliwości kierowania statkiem. Częściowo kontrolę odzyskuje się poprzez uruchomienie zasilania awaryjnego, ale pełna funkcjonalność obiektu oceanotechnicznego wraca dopiero po uruchomieniu zespołu prądowórczego znajdującego się w gorącej rezerwie lub po usunięciu przyczyny *black-out'u*. Zaistnienie przerwy w zasilaniu doprowadzić zatem może do bezpośredniego zagrożenia dla samego statku jak i jego otoczenia. Skutki katastrofy morskiej oprócz narażenia życia ludzkiego wiążą się z dużymi stratami finansowymi i ewentualnym skażeniem środowiska naturalnego.

Aby uniknąć przerw w zasilaniu elektrownia okrętowa musi być prawidłowo zaprojektowana. Weryfikuje to proces eksploatacji statku. Analiza obciążeń elektrowni okrętowych w trakcie ich eksploatacji służy temu celowi. Uzyskane w ten sposób informacje pozwalają ocenić efektywność rozwiązań elektrowni okrętowych i znaleźć pola optymalnych rozwiązań, pomóc w planowaniu zużycia paliwa, oleju i części zamiennych dla elektrowni już zbudowanych (ekonomiczne zarządzanie statkiem). W dalszej części pracy przedstawiono analizę obciążeń elektrowni okrętowej dla wybranego statku transportowego.

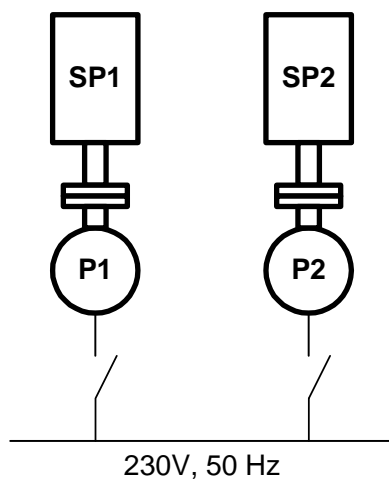
2. Obiekt analizy

Obserwacje obciążeń elektrowni prowadzono w siłowni drobnicowca o pojemności brutto 2065 ton. Elektrownię okrętową jednostki stanowią dwa niezależne zespoły

prądowórcze prądu zmiennego (ZP1 i ZP2). Schemat elektrowni okrętowej pokazano na rys 1.

W trakcie okresu obserwacji (42 doby) obciążenie elektrowni okrętowej zmieniało się w zależności od rodzaju wykonywanego zadania przez obiekt oceanotechniczny (stanu eksploatacyjnego). Wyróżnione stany eksploatacyjne to: *postój w porcie*, *manewry*, *jazda z podwyższoną gotowością operacyjną siłowni*. Wykonanie wszystkich zadań cząstkowych zapewnia spełnienie zasadniczego zadania stawianego przed statkiem i jego załogą, czyli przewiezienia ładunku zgodnie z ustalonym wcześniej planem.

W przypadku jednostek transportowych najdłużej przebywają one w dwóch stanach eksploatacyjnych: *podróży morskiej* i *postoju w porcie*. Rozkłady obciążeń zespołów prądowórczych dla stanu eksploatacyjnego *podróż morską* badanego drobnicowca omówiono szczegółowo w pracach [3,4]. Zupełnie inny jest sposób pracy zespołów prądowórczych w przypadku stanu eksploatacyjnego *postój w porcie*. Do produkcji energii elektrycznej wymagana była praca równoległa zespołów prądowórczych, znacznie rzadziej praca samodzielna jednego z zespołów prądowórczych. Ze względu na bardzo krótki czas pracy samodzielnej zespołów prądowórczych podczas postojów statku w porcie, omówiono tylko rozkłady obciążeń dla pracy równoległej. Szczegółowy bilans czasu pracy zespołów prądowórczych w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat elektrowni drobnicowca: SP1, SP2 – silniki pomocnicze Volvo Penta o mocy 175 kW każdy; P1, P2 – prądnicę prądu zmiennego typu MC firmy Newage Stamford o mocy 140 kW

Fig. 1. A schematic diagram of the general cargo vessel electric power station: SP1, SP2 – auxiliary engines Volvo Penta 175 kW each; P1, P2 – generators MC Newage Stamford 140 kW each

Tabela 1

Bilans czasu pracy zespołów prądotwórczych w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie*

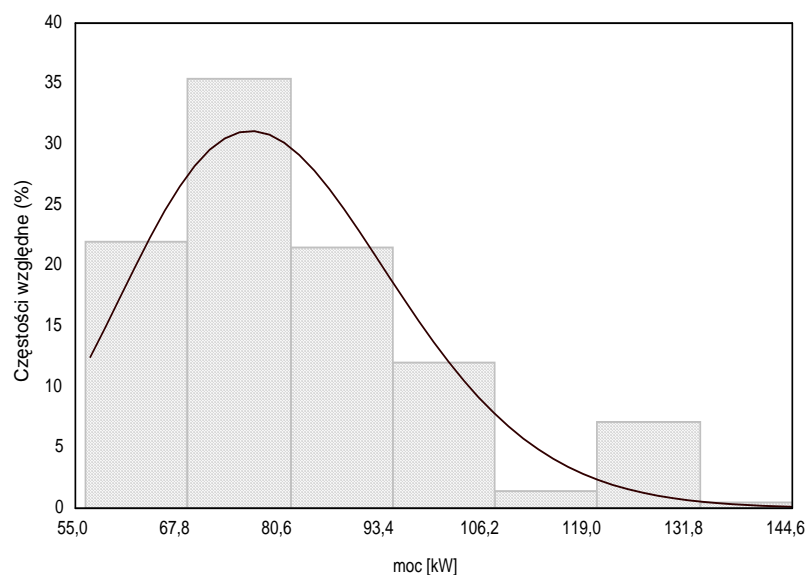
The balance of the generating sets working time for *port* operational state

<i>Postój w porcie</i>	Praca samodzielna ZP1	Praca samodzielna ZP2	Praca równoległa ZP1 i ZP2
Czas pracy [h]	17	36	209
Łącznie: 262			

3. Rozkład prawdopodobieństwa obciążenia zespołów prądotwórczych elektrowni drobnicowca dla stanu eksploatacyjnego *postój w porcie*

3.1. Rozkład prawdopodobieństwa obciążenia dla ZP1 i ZP2 pracujących równolegle

Sumaryczną moc wytwarzaną przez pracujące równolegle zespoły prądotwórcze ZP1 i ZP2 w poszczególnych godzinach przebywania obiektu oceanotechnicznego w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* potraktowano jako zmienną losową. W związku z dużą licznością próbki $n = 209$, aby dokonać syntetycznego opisu danych, dokonano agregacji danych, wybierając podział na 7 przedziałów mocy długości 12,86 kW, gdzie dolna granica pierwszego przedziału klasowego ma wielkość 55 kW, a górna ostatniego 145 kW. Następnie pogrupowano zaobserwowane wartości mocy w klasy, w zależności od przedziału, do którego przynależą. Histogram częstości występowania poszczególnych wartości zmiennej losowej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Histogram częstości mocy wytworzonej przez pracujące równolegle zespoły prądowórcze ZP1 i ZP2 oraz hipotetyczna gęstość rozkładu gamma zmiennej losowej (linia ciągła)

Fig. 2. Histogram of the load distribution frequency for the both generating sets in parallel operation and hypothetical load distribution frequency function (solid line)

Histogram ma wyraźną modę, jest nią przedział wartości [67,8; 80,6] kW mocy. Oznacza to, że najczęściej w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* obciążenie pracujących równolegle zespołów prądowórczych kształtowało się pomiędzy 67,8 a 80,6 kW. Średnie obciążenie elektrowni wynosi 81,96 kW z odchyleniem rzędu 17,72 kW. Dokonując estymacji przedziałowej dla wartości oczekiwanej mocy na poziomie ufności 0,95 (wykorzystując model oparty na dowolnym rozkładzie mocy w populacji generalnej, wobec dużej liczności próby), uzyskano przedział ufności dla średniej mocy postaci [79,5; 84,33] kW. Zatem można przypuszczać, że w tym przedziale z prawdopodobieństwem 0,95 znajduje się realizacja średniej mocy wytworzonej przez pracujące równolegle zespoły prądowórcze. Natomiast mediana mocy ma wartość 80 kW. Ponieważ wartość mediany jest mniejsza niż średnia wartość mocy, stwierdzono, że histogram jest prawostronnie skośny (asymetria prawostronna). Dowodzi tego również dodatnia wartość współczynnika skośności wynoszącego 0,852177.

Przeprowadzono test zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym. W związku z tym, że próbka jest duża, przynajmniej 5 elementów jest w każdej klasie, a badana cecha jest typu ciągłego, oparto się na teście chi-kwadrat Pearsena oraz teście Kołmogorowa-Smirnowa [1,2,5].

Przy postawionej hipotezie zerowej postaci: H_0 : {rozkład mocy wytwarzanej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 jest rozkładem normalnym $N(81,91; 17,72)$ }, przeciw

hipotezie alternatywnej H_A : {rozkład mocy wytwarzanej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 nie jest rozkładem normalnym $N(81,91;17,72)$ } w teście Kołmogorowa uzyskano następujące rezultaty:

- wartość statystyki testowej $D_n = \sqrt{nd_n} = 1,72$, gdzie statystyka $d_n = 0,12$;
- wartość krytyczna na poziomie ufności 0,95 $k = 1,35$.

Wartość statystyki testowej jest większa niż wartość krytyczna, więc odrzucono hipotezę o rozkładzie normalnym mocy wytworzonej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 na poziomie istotności 0,05.

Przy analogicznych założeniach dotyczących hipotezy zerowej i alternatywnej wykonano test chi-kwadrat zgodności z rozkładem normalnym i uzyskano następujące wyniki:

- wartość statystyki testowej $\chi_e^2 = 13,22$;
- przy liczbie stopni swobody równej 2 oraz na poziomie ufności 0,95 wartość krytyczna wynosi $\chi_{0,05}^2 = 5,99$.

Wartość statystyki jest większa niż wartość krytyczna, więc ten test również potwierdził, iż należy odrzucić hipotezę o rozkładzie normalnym mocy wytworzonej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 na poziomie istotności 0,05.

Następnie przy postawionej hipotezie zerowej postaci: H_0 : {rozkład mocy wytwarzanej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 jest rozkładem gamma $\Gamma(22,99; 3,5)$ }, przeciw hipotezie alternatywnej H_A : {rozkład mocy wytwarzanej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 nie jest rozkładem gamma $\Gamma(22,99; 3,5)$ } w teście Kołmogorowa uzyskano następujące rezultaty:

- wartość statystyki testowej $D_n = \sqrt{nd_n} = 1,88$, gdzie statystyka $d_n = 0,13$;
- wartość krytyczna na poziomie ufności 0,95 $k = 1,35$.

Wartość statystyki testowej jest większa niż wartość krytyczna, więc odrzucono hipotezę o rozkładzie gamma mocy wytworzonej przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 na poziomie istotności 0,05.

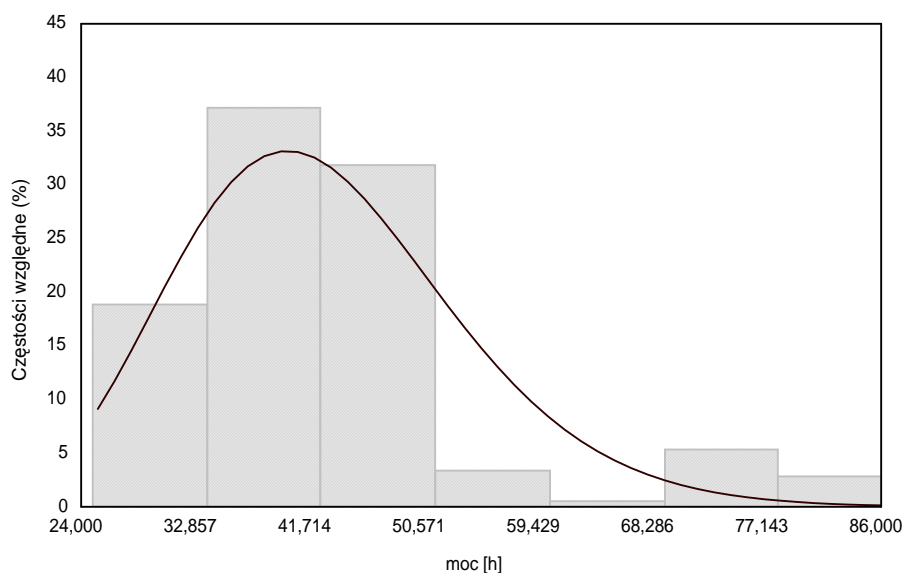
Przy analogicznych założeniach dotyczących hipotezy zerowej i alternatywnej wykonano test chi-kwadrat zgodności z rozkładem gamma i uzyskano następujące wyniki:

- wartość statystyki testowej $\chi_e^2 = 5,55$;
- przy liczbie stopni swobody równej 2 oraz na poziomie ufności 0,95 wartość krytyczna wynosi $\chi_{0,05}^2 = 5,99$.

Wartość statystyki jest mniejsza niż wartość krytyczna, więc nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że moc wytworzona przez pracujące równolegle ZP1 i ZP2 ma rozkład gamma $\Gamma(22,99; 3,5)$ na poziomie istotności 0,05.

3.2. Rozkład prawdopodobieństwa obciążenia ZP1 przy ZP1 i ZP2 pracujących równolegle

Moc wytworzoną wyłącznie przez ZP1 podczas pracy równoległej ZP1 i ZP2 w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* potraktowano jako zmienną losową. W związku z dużą licznością próbek $n = 209$, aby dokonać syntetycznego opisu danych, dokonano agregacji danych, wybierając podział na 7 przedziałów mocy długości 8,86 kW, gdzie dolna granica pierwszego przedziału klasowego ma wielkość 24 kW, a górna ostatniego 86 kW. Następnie pogrupowano zaobserwowane wartości mocy w klasy, w zależności od przedziału, do którego przynależą. Histogram częstości występowania poszczególnych wartości zmiennej losowej przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Histogram częstości mocy wytworzonej wyłącznie przez ZP1 przy ZP1 i ZP2 pracujących równolegle oraz hipotetyczna gęstość rozkładu gamma zmiennej losowej (linia ciągła)

Fig. 3. Histogram of the load distribution frequency for the generating set 1 in parallel operation and hypothetical load distribution frequency function (solid line)

Histogram ma wyraźną modę, jest nią przedział wartości [32,857; 41,714) kW mocy. Oznacza to, że najczęściej w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* obciążenie ZP1 kształtowało się pomiędzy 32,857 a 41,714 kW. Średnie obciążenie ZP1 wynosi 42,8 kW z odchyleniem rzędu 11,96 kW. Dokonując estymacji przedziałowej dla wartości oczekiwanej mocy na poziomie ufności 0,95 (wykorzystując model oparty na dowolnym rozkładzie mocy w populacji generalnej, wobec dużej liczebności próby) uzyskano przedział ufności dla średniej mocy postaci [41,16; 44,44] kW. Zatem można przypuszczać, że w tym przedziale z prawdopodobieństwem 0,95 znajduje się realizacja średniej mocy wytworzonej przez ZP1. Natomiast mediana mocy ma wartość 40 kW. Ponieważ wartość mediany jest mniejsza niż

średnia wartość mocy, stwierdzono, że histogram jest prawostronnie skośny (asymetria prawostronna). Dowodzi tego również dodatnia wartość współczynnika skośności wynoszącego 1,5.

Przeprowadzono test zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym. W związku z tym, że próbka jest duża, przynajmniej 5 elementów jest w każdej klasie, a badana cecha jest typu ciągłego, oparto się na teście chi-kwadrat Pearsena oraz teście Kołmogorowa-Smirnowa.

Przy postawionej hipotezie zerowej postaci: H_0 : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP1 jest rozkładem normalnym $N(42,16; 11,96)$ }, przeciw hipotezie alternatywnej H_A : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP1 nie jest rozkładem normalnym $N(42,16; 11,96)$ } w teście Kołmogorowa uzyskano następujące rezultaty:

- wartość statystyki testowej $D_n = \sqrt{n}d_n = 3,04$, gdzie statystyka $d_n = 0,21$;
- wartość krytyczna na poziomie ufności 0,95 $k = 1,35$.

Wartość statystyki testowej jest większa niż wartość krytyczna, więc odrzucono hipotezę o rozkładzie normalnym mocy wytworzonej przez ZP1 na poziomie istotności 0,05.

Przy analogicznych założeniach dotyczących hipotezy zerowej i alternatywnej wykonano test chi-kwadrat zgodności z rozkładem normalnym i uzyskano następujące wyniki:

- wartość statystyki testowej $\chi_e^2 = 35,01$;
- przy liczbie stopni swobody równej 2 oraz na poziomie ufności 0,95 wartość krytyczna wynosi $\chi_{0,05}^2 = 5,99$.

Wartość statystyki jest zdecydowanie większa niż wartość krytyczna, więc ten test również potwierdził, iż należy odrzucić hipotezę o rozkładzie normalnym mocy wytworzonej przez ZP1 na poziomie istotności 0,05.

Następnie przy postawionej hipotezie zerowej postaci: H_0 : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP1 jest rozkładem gamma $\Gamma(15,19; 2,7)$ }, przeciw hipotezie alternatywnej H_A : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP1 nie jest rozkładem gamma $\Gamma(15,19; 2,7)$ } w teście Kołmogorowa uzyskano następujące rezultaty:

- wartość statystyki testowej $D_n = \sqrt{n}d_n = 2,16$, gdzie statystyka $d_n = 0,15$;
- wartość krytyczna na poziomie ufności 0,95 $k = 1,35$.

Wartość statystyki testowej jest większa niż wartość krytyczna, więc odrzucono hipotezę o rozkładzie gamma mocy wytworzonej przez ZP1 na poziomie istotności 0,05.

Przy analogicznych założeniach dotyczących hipotezy zerowej i alternatywnej wykonano test chi-kwadrat zgodności z rozkładem gamma i uzyskano następujące wyniki:

- wartość statystyki testowej $\chi_e^2 = 22,77$;

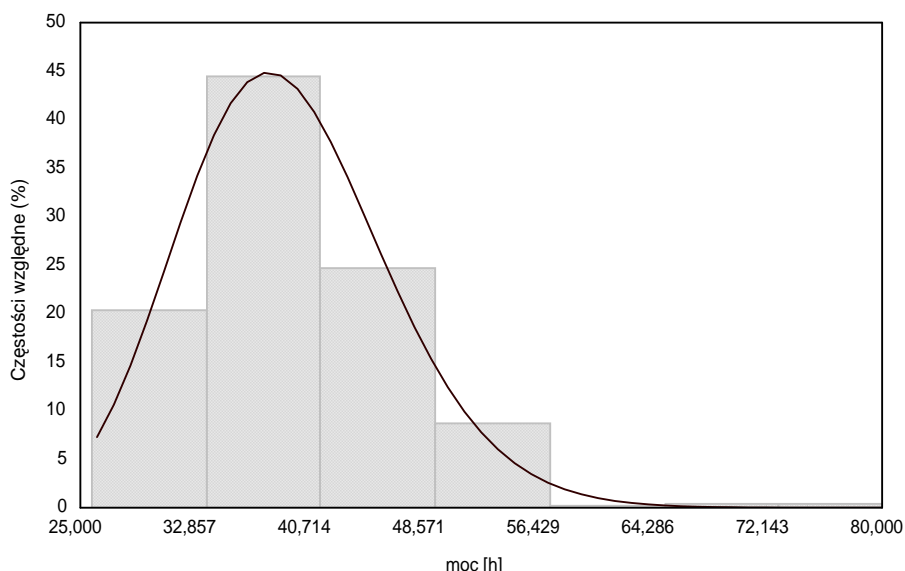
- przy liczbie stopni swobody równej 2 oraz na poziomie ufności 0,95 wartość krytyczna wynosi $\chi^2_{0,05} = 5,99$.

Wartość statystyki jest większa niż wartość krytyczna, więc należy odrzucić hipotezę, że moc wytworzona przez ZP1 ma rozkład gamma $\Gamma(22,99; 3,5)$ na poziomie istotności 0,05.

Jednak na podstawie wyznaczonych parametrów opisowych oraz przeprowadzonych testów zgodności dla różnego typu rozkładów teoretycznych przyjęto, że rozkład gamma jest najlepszym przybliżeniem empirycznego rozkładu zmiennej losowej.

3.3. Rozkład prawdopodobieństwa obciążenia ZP2 przy ZP1 i ZP2 pracujących równolegle

Moc wytworzoną wyłącznie przez ZP2 podczas pracy równoległej ZP1 i ZP2 w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* potraktowano jako zmienną losową. W związku z dużą licznością próbek $n = 209$, aby dokonać syntetycznego opisu danych, dokonano agregacji danych, wybierając podział na 7 przedziałów mocy długości 7,857 kW, gdzie dolna granica pierwszego przedziału klasowego ma wielkość 25 kW, a górna ostatniego 80 kW. Następnie pogrupowano zaobserwowane wartości mocy w klasy, w zależności od przedziału, do którego przynależą. Histogram częstości występowania poszczególnych wartości zmiennej losowej przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Histogram częstości mocy wytworzonej wyłącznie przez ZP2 przy ZP1 i ZP2 pracujących równolegle oraz hipotetyczna gęstość rozkładu gamma zmiennej losowej (linia ciągła)

Fig. 4. Histogram of the load distribution frequency for the generating set 2 in parallel operation and hypothetical load distribution frequency function (solid line)

Histogram ma wyraźną modę, jest nią przedział wartości [32,857; 40,714) kW mocy. Oznacza to, że najczęściej w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* obciążenie ZP2 kształtowało się pomiędzy 32,857 a 40,714 kW. Średnie obciążenie ZP2 wynosi 39,2 kW z odchyleniem rzędu 7,272 kW. Dokonując estymacji przedziałowej dla wartości oczekiwanej mocy na poziomie ufności 0,95 (wykorzystując model oparty na dowolnym rozkładzie mocy w populacji generalnej, wobec dużej liczebności próby) uzyskano przedział ufności dla średniej mocy postaci [38,2; 40,2] kW. Zatem można przypuszczać, że w tym przedziale z prawdopodobieństwem 0,95 znajduje się realizacja średniej mocy wytworzonej przez ZP2. Natomiast mediana mocy ma wartość 40 kW. Wartość mediany jest równa średniej wartości mocy, ale na podstawie dodatniej wartości współczynnika skośności wynoszącego 0,97 można stwierdzić, że histogram jest prawostronnie skośny (asymetria prawostronna).

Przeprowadzono test zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym. W związku z tym, że próbka jest duża, przynajmniej 5 elementów jest w każdej klasie, a badana cecha jest typu ciągłego, oparto się na teście chi-kwadrat Pearsena oraz teście Kołmogorowa-Smirnowa.

Przy postawionej hipotezie zerowej postaci: H_0 : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP2 jest rozkładem normalnym $N(39,2; 7,2)$ }, przeciw hipotezie alternatywnej H_A : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP2 nie jest rozkładem normalnym $N(39,2; 7,2)$ } w teście Kołmogorowa uzyskano następujące rezultaty:

- wartość statystyki testowej $D_n = \sqrt{n}d_n = 2,01$, gdzie statystyka $d_n = 0,14$;
- wartość krytyczna na poziomie ufności 0,95 $k = 1,35$.

Wartość statystyki testowej jest większa niż wartość krytyczna, więc odrzucono hipotezę o rozkładzie normalnym mocy wytworzonej przez ZP2 na poziomie istotności 0,05.

Przy analogicznych założeniach dotyczących hipotezy zerowej i alternatywnej wykonano test chi-kwadrat zgodności z rozkładem normalnym i uzyskano następujące wyniki:

- wartość statystyki testowej $\chi_e^2 = 5,422$;
- przy liczbie stopni swobody równej 2 oraz na poziomie ufności 0,95 wartość krytyczna wynosi $\chi_{0,05}^2 = 5,99$.

Wartość statystyki jest mniejsza niż wartość krytyczna, więc test potwierdził, iż nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o rozkładzie normalnym mocy wytworzonej przez ZP2 na poziomie istotności 0,05.

Następnie przy postawionej hipotezie zerowej postaci: H_0 : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP2 jest rozkładem gamma $\Gamma(30,65; 1,28)$ }, przeciw hipotezie alternatywnej H_A : {rozkład mocy wytwarzanej przez ZP2 nie jest rozkładem gamma $\Gamma(30,65; 1,28)$ } w teście Kołmogorowa uzyskano następujące rezultaty:

- wartość statystyki testowej $D_n = \sqrt{nd_n} = 2,01$, gdzie statystyka $d_n = 0,14$;
- wartość krytyczna na poziomie ufności 0,95 $k = 1,35$.

Wartość statystyki testowej jest większa niż wartość krytyczna, więc odrzucono hipotezę o rozkładzie gamma mocy wytworzonej przez ZP2 na poziomie istotności 0,05.

Przy analogicznych założeniach dotyczących hipotezy zerowej i alternatywnej wykonano test chi-kwadrat zgodności z rozkładem gamma i uzyskano następujące wyniki:

- wartość statystyki testowej $\chi_e^2 = 2,66$;
- przy liczbie stopni swobody równej 2 oraz na poziomie ufności 0,95 wartość krytyczna wynosi $\chi_{0,05}^2 = 5,99$.

Wartość statystyki jest mniejsza niż wartość krytyczna, więc nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że moc wytworzona przez ZP2 ma rozkład gamma $\Gamma(30,65; 1,28)$ na poziomie istotności 0,05.

3.4. Test istotności dla dwóch średnich

W ostatnim etapie dokonano weryfikacji hipotezy o równości obciążeń obu zespołów prądotwórczych. Z racji niezgodności rozkładu empirycznego mocy wytworzonej przez ZP1 z rozkładem normalnym, wykorzystano model oparty na nieznaności rozkładu w populacji. Postawiono hipotezę zerową o równości średnich obciążeń obu zespołów prądotwórczych $H_0 : m_1 = m_2$, przeciw hipotezie alternatywnej informującej, iż średnie obciążenie ZP1 jest większe niż obciążenie ZP2 $H_A : m_1 > m_2$. Mając do dyspozycji duże próby dla wytwarzanej mocy, wykorzystano graniczny rozkład różnicy średnich arytmetycznych z prób i uzyskano następujące rezultaty [5]:

- wartość statystyki testowej $u = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = 0,97$;
- prawostronny obszar krytyczny $K = [1,65; +\infty)$.

W konsekwencji tego, że wartość statystyki testowej nie należy do przedziału krytycznego, przyjęto hipotezę zerową o równości średnich obciążeń ZP1 i ZP2.

4. Uwagi końcowe

Przeprowadzono testy zgodności rozkładów empirycznych częstości mocy wytworzonej przez pracujące równolegle zespoły prądotwórcze ZP1 i ZP2 elektrowni drobnicowca dla stanu eksploatacyjnego *postój w porcie*. Rozkłady empiryczne sporządzono dla sumarycznej

mocy wytwarzanej przez pracujące równolegle zespoły prądowórcze oraz dla mocy wytwarzanej przez poszczególne zespoły podczas ich pracy równoległej. Na podstawie testów uzyskano zgodność z rozkładem gamma dla sumarycznego obciążenia pracujących równolegle ZP1 i ZP2 oraz dla obciążenia ZP2 przy pracy równoległej. Natomiast dla obciążenia ZP1 podczas pracy równoległej najlepszy rezultat osiągnięto również dla rozkładu gamma.

W związku z tym przyjęto hipotezę, że dla badanego obiektu oceanotechnicznego rozkład obciążeń zespołów prądowórczych pracujących równolegle w stanie eksploatacyjnym *postój w porcie* najlepiej opisuje rozkład gamma.

Na podstawie testu istotności dla dwóch średnich stwierdzono, że oba zespoły prądowórcze podczas pracy równoległej mają takie samo obciążenie. Oznacza to, że podział mocy podczas pracy równoległej zespołów prądowórczych był z założenia symetryczny. W elektrowniach okrętowych podczas współpracy równoległej zespołów prądowórczych przy niskich obciążeniach stosować można asymetryczny rozdział mocy. Jeden z zespołów prądowórczych pracuje wówczas z niższym obciążeniem, drugi z wyższym, a po ustalonym przedziale czasu następuje zmiana. W tym przypadku sytuacja taka nie miała miejsca.

LITERATURA

1. Gałek L., Kałużka M.: *Wnioskowanie statystyczne*. Warszawa: WNT 1996.
2. Józwiak J., Podgórski J.: *Statystyka od podstaw*. Warszawa: PWE 1995.
3. Kijewska M., Nicewicz G.: *Analiza rozkładu obciążeń zespołów prądowórczych elektrowni okrętowej statku transportowego dla wybranego stanu eksploatacyjnego*. Międzynarodowy sbornik naukowych trudów „Nadeżnost i efektywnost techniczeskich sistem”, Kaliningradskij Gosudarstwiennyj Techniczeskij Uniwersitet, Izdatelstwo KGTU, Kaliningrad 2004, s. 64-72.
4. Kijewska M., Nicewicz G.: *Estymacja gęstości rozkładu obciążeń zespołów prądowórczych elektrowni okrętowej w wybranym stanie eksploatacji*. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej nr 598 (seria: Budownictwo Okrętowe Nr LXV). Gdańsk 2004, s. 79-87.
5. Plucińska A., Pluciński E.: *Probabilistyka*. Warszawa: WNT 2000.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Jan KAŻMIERCZAK
Politechnika Śląska w Gliwicach