

*Agnieszka BARCZAK*

## **WYKORZYSTANIE ANALIZY HARMONICZNEJ W PROCESIE PROGNOZOWANIA RUCHU PASAŻERSKIEGO W TRANSPORCIE LOTNICZYM NA PRZYKŁADZIE PORTU LOTNICZEGO SZCZECIN-GOLENIÓW**

### **USING HARMONIC ANALYSIS IN THE PROCESS OF AIR PASSENGER TRAFFIC FORECASTING ON THE EXAMPLE OF SZCZECIN-GOLENIÓW AIRPORT**

Katedra Analizy Systemowej i Finansów, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie, ul. Klemensa Janickiego 31, 71-270 Szczecin, e-mail: agnieszka-barczak@zut.edu.pl

**Summary.** The volume of air passenger traffic varies according to seasons, which largely affect fluctuation of supply for this kind of service. By monitoring such seasonal variations we can manage the supply in transport capacity more effectively and ensure it is managed on the suitable level in airports. Isolating and extracting the influence of seasonal changes while preparing a forecast allows for improvement in the forecasting precision. Therefore, the aim of the paper is to carry out process forecast for 2016 on the basis of a harmonic analysis using quarterly data on the number of passengers arriving and departing from Port Lotniczy Szczecin-Goleniów in the years 2013–2015.

**Słowa kluczowe:** analiza harmoniczna, transport lotniczy, wahania sezonowe.

**Key words:** harmonic analysis, air transport, seasonal fluctuations.

#### **WSTĘP**

Wahania sezonowe są zjawiskiem polegającym na występowaniu zwiększonego popytu na określone produkty i usługi, zwykle powtarzającym się w określonym czasie, który nie przekracza roku (są to wahania kwartalne, miesięczne, tygodniowe i dzienne). W większości przypadków sezonowość jest wywoływana warunkami klimatycznymi, zwyczajami społecznymi oraz zachowaniami ludzi (Pluta-Zaremba 2005).

Zjawiskiem, które podlega wahaniom sezonowym, jest niewątpliwie ruch pasażerów w transporcie lotniczym. Sezonowość w dużym stopniu wynika ze zmienności pór roku i powoduje ciągłe wahania popytu. Monitorowanie tego typu odchyleń pozwala na bardziej efektywne zarządzanie rezerwami zdolności przewozowych przez linie lotnicze, jak również na utrzymywanie odpowiedniej zdolności przepustowej portów lotniczych. Należy zaznaczyć, że proces wyodrębniania wpływu wahań sezonowych na wartości zmiennej prognozowanej, a także uwzględnianie go podczas prognozowania pozwala na zwiększenie precyzji przewidywania (Cieślak 1997). Do metod budowy modeli, które uwzględniają tego rodzaju zjawisko, można zaliczyć m.in. metodę wskaźników (Barczak 2015a), trendów jednoimiennych okresów, metodę Kleina oraz analizę harmoniczną operującą szeregami Fouriera.

Celem analizy harmonicznej jest dekompozycja szeregu czasowego zawierającego czynniki cykliczne na funkcje sinus i cosinus, które związane są z określoną długością fali. Dzięki temu możliwe jest wykrycie okresowości, która często jest zaburzana przez składnik losowy.

W związku z powyższym celem niniejszego opracowania jest przygotowanie prognozy na rok 2016 na podstawie analizy harmonicznej z wykorzystaniem danych kwartalnych z lat 2013–2015, dotyczących liczby pasażerów przylatujących i odlatujących z Portu Lotniczego (PL) Szczecin-Goleniów.

## CHARAKTERYSTYKA BADANEGO OBIEKTU

Port Lotniczy Szczecin-Goleniów to jedyny w regionie Pomorza Zachodniego port lotniczy należący do podstawowej sieci lotnisk w Polsce, włączony w system transeuropejskich sieci transportowych (TEN-T). W regionie znajdują się jeszcze: cywilne lotnisko Dąbie, lotniska powojkowe m.in. w Płotach, Zegrzu Pomorskim, Bornym Sulinowie, Chojnie, Bagiczu, Wilczych Laskach, jak również czynne lotniska wojskowe w Świdwinie, Mirosławcu i Darłowie.

Port ten spełnia standardy zawarte w załącznikach nr 14 „Lotniska” i nr 17 „Ochrona międzynarodowego lotnictwa cywilnego przed aktami bezprawnej ingerencji” Konwencji ICAO (International Civil Aviation Organization – Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego). Pozostałe lotniska i obiekty lotniskowe, które zlokalizowane są w regionie, nie spełniają tych wymogów, a także nie mają statusu stałych lotniczych przejść granicznych. Jednakże mimo to należy mieć na uwadze bliskość i obszar oddziaływania portów lotniczych Berlina (Tegel, Tempelhof i Schönefeld), które obsługują większą część potencjalnego ruchu pasażerskiego (Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym z dnia 7 grudnia 1944 r.).

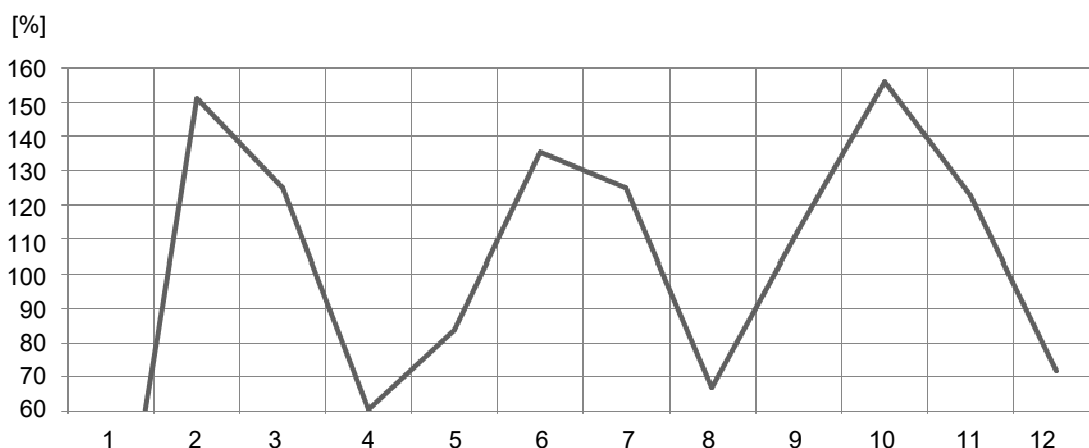
Charakterystyka analizowanego obiektu zostanie ograniczona do przedstawienia tendencji kształtowania się ruchu pasażerskiego z wykorzystaniem analizy dynamiki odlotów i przylotów pasażerów w analizowanym okresie<sup>1</sup>.

Analiza wskaźników łańcuchowych dotyczących odlotów wykazuje, że w stosunku do kwartału poprzedzającego zanotowano spadek liczby pasażerów w czwartym kwartale 2013 r. (o 39,66%), w pierwszym (o 16,09%) i czwartym (o 33,07%) kwartale 2014 r. oraz w czwartym kwartale 2015 r. (o 28,30%). Największe wzrosty liczby pasażerów odlatujących z PL Szczecin-Goleniów odnotowano w drugim kwartale 2013 r. i w drugim kwartale 2015 r.; były to wzrosty odpowiednio o 51,03 i o 56,17% (ryc. 1).

Analiza wskaźników jednopodstawowych odnoszących się do odlotów wykazuje stałe wahania liczby pasażerów w stosunku do kwartału bazowego, za który przyjęto pierwszy kwartał 2013 r. Spadek liczby pasażerów odlatujących, w porównaniu z okresem bazowym, zanotowano w pierwszym kwartale 2014 r. – wyniósł on 4,44%. W pozostałym okresie odnotowano wzrosty. Najmniejszy wzrost liczby pasażerów, w stosunku do początku analizowanego okresu, odnotowano w czwartym kwartale roku 2014 – wyniósł on 8,24%, a największy w trzecim kwartale roku 2015 – 132,19% (ryc. 2).

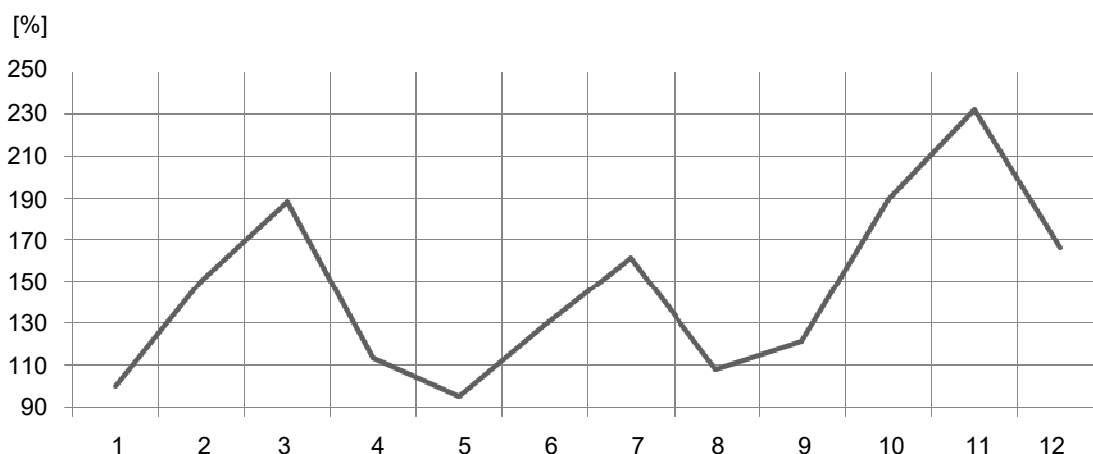
---

<sup>1</sup> Metodyka wyznaczania indeksów dynamiki została przedstawiona w pracy Barczak (2015b).



Ryc. 1. Odloty pasażerów z Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów – indeksy łańcuchowe w ujęciu kwartalnym

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.

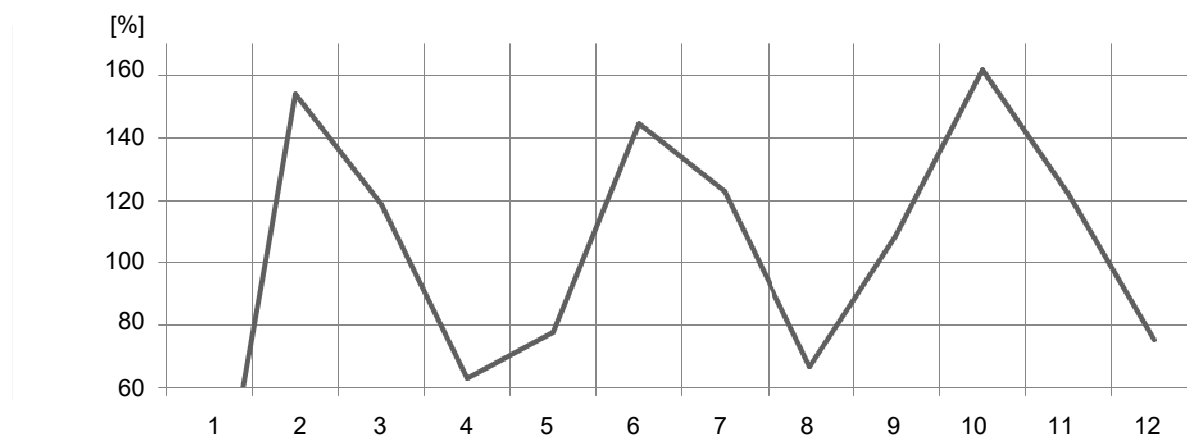


Ryc. 2. Odloty pasażerów z Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów – indeksy jednopodstawowe w ujęciu kwartalnym

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.

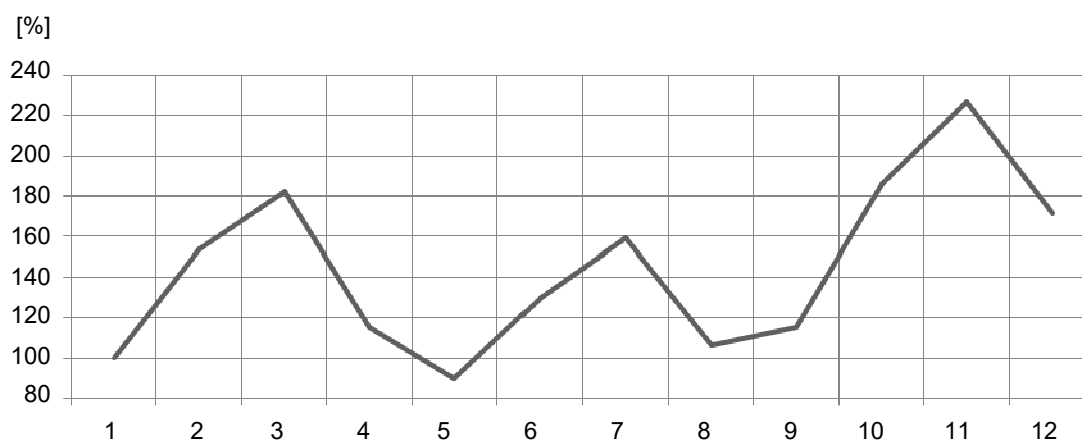
Analizując wskaźniki łańcuchowe przylotów, można zauważyć, że w stosunku do kwartału poprzedzającego liczba pasażerów PL Szczecin-Goleniów wykazywała zbliżoną tendencję jak w przypadku liczby osób odlatujących. Spadek liczby pasażerów odnotowano w czwartym kwartale 2013 r. (36,80%), pierwszym (22,10%) i czwartym (33,32%) kwartale 2014 r. oraz w czwartym kwartale roku 2015 – o 24,56%. W pozostałych okresach odnotowano wzrost liczby pasażerów. Największe wzrosty liczby pasażerów odlatujących z PL Szczecin-Goleniów odnotowano w drugim kwartale 2013 r. i w drugim kwartale 2015 r. – były to wzrosty odpowiednio o 53,87% i o 61,89% (ryc. 3).

Podobnie jak indeksy łańcuchowe indeksy jednopodstawowe wykazują zbliżone tendencje do liczby pasażerów odlatujących z analizowanego portu lotniczego. Spadek liczby pasażerów przylatujących, w porównaniu z okresem bazowym, zanotowano w pierwszym kwartale 2014 r. – wyniósł on 10,08%. W pozostałym okresie odnotowano wzrosty. Najmniejszy wzrost liczby pasażerów, w stosunku do początku analizowanego okresu, odnotowano w czwartym kwartale roku 2014 – wyniósł on 6,23%, a największy w trzecim kwartale roku 2015 – 126,91% (ryc. 4).



Ryc. 3. Przyloty pasażerów do Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów – indeksy łańcuchowe w ujęciu kwartalnym

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.



Ryc. 4. Przyloty pasażerów do Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów – indeksy jednopodstawowe w ujęciu kwartalnym

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.

## ANALIZA HARMONICZNA – METODYKA

Analiza harmoniczna jest jedną z metod służących do badania zjawiska okresowości w szeregach czasowych. Model budowany jest w postaci sumy tzw. harmonik, czyli funkcji sinusoidalnych bądź cosinusoidalnych o danym okresie. Pierwsza harmonika ma okres równy długości okresu badanego, druga to połowa tego okresu, trzecia to jedna trzecia tego okresu itd. W przypadku  $n$  obserwacji liczba możliwych harmonik wynosi  $\frac{n}{2}$  (Dittmann 1997).

Analiza harmoniczna przebiega w dwóch etapach. Etap pierwszy to zidentyfikowanie zjawiska rytmiczności. Kolejno określana jest istotna długość cyklu, po czym następuje badanie zmienności amplitudy wahań. Może mieć ona oscylacje stałe, tłumione bądź rosnące. Etap drugi polega na wyznaczeniu funkcji cyklometrycznej (Cieślak 1970). Model analizy harmonicznej zapisuje się w postaci (Zeliaś i in. 2003):

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n/2} A_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} it - \delta_i\right) \quad (1)$$

gdzie:

- $i$  – numer harmoniki,
- $\alpha_0$  – poziom średni,
- $A_i$  – amplituda  $i$ -tej harmoniki<sup>2</sup>,
- $\delta_i$  – faza  $i$ -tej harmoniki<sup>3</sup>.

Wykorzystanie własności funkcji cosinus pozwala na przedstawienie modelu w następującej postaci:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n/2} \left[ \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) + \beta_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right] \quad (2)$$

gdzie:

$\alpha_0, \alpha_i, \beta_i$  – parametry.

Jest to model, który odnosi się do przypadku wahań wokół stałego średniego poziomu, jaki reprezentowany jest przez parametr  $\alpha_0$ .

Otrzymane za pomocą metody najmniejszych kwadratów wartości  $a_0, a_i, b_i$  ocen parametrów  $\alpha_0, \alpha_i, \beta_i$  przedstawiają wzory:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t \quad (3)$$

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \quad \text{dla } i = 1, \dots, \frac{n}{2} - 1 \quad (4)$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \quad \text{dla } i = 1, \dots, \frac{n}{2} - 1 \quad (5)$$

Należy zaznaczyć, że w przypadku ostatniej harmoniki o numerze  $n/2$  wartości te wynoszą:

$$a_{n/2} = 0 \quad (6)$$

$$b_{n/2} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos(\pi t) \quad (7)$$

Amplitudy dla poszczególnych harmonik wyznaczane są ze wzoru:

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad (8)$$

Aby zlokalizować amplitudy i fazy na osi czasu, dla każdej harmoniki wyznaczana jest wartość przesunięcia fazowego zgodnie z formułą:

$$\tau_i = \frac{\delta_i}{g_i} = \frac{\arctg\left(\frac{a_i}{b_i}\right)}{\frac{2\pi}{n} i} \quad \text{dla } i = 1, \dots, \frac{n}{2} \quad (9)$$

<sup>2</sup> Moduł z największej różnicy między wartością  $i$ -tej harmoniki a poziomem średnim  $\alpha_0$ .

<sup>3</sup> Przesunięcie najwyższego lub najniższego punktu  $i$ -tej harmoniki względem początku układu współrzędnych w lewo lub w prawo.

Im dłuższy jest szereg czasowy, tym większa jest liczba harmonik, które należy wyznaczyć. Najczęściej jednak w modelu bierze się pod uwagę te harmoniki, których udział w wyjaśnieniu wariancji zmiennej prognozowanej jest największy. Część ogólnej wariancji zmiennej prognozowanej, uwzględnionej przez  $i$ -tą harmonikę, wyznacza się ze wzoru:

$$\omega_i = \frac{a_i^2 + b_i^2}{2s_Y^2} \text{ dla } i = 1, \dots, \frac{n}{2} - 1 \quad (10)$$

oraz dla ostatniej harmoniki:

$$\omega_{n/2} = \frac{a_i^2 + b_i^2}{s_Y^2} \quad (11)$$

gdzie:

$s_Y^2$  – wariancja zmiennej prognozowanej.

W celu uwzględnienia funkcji trendu stosuje się model w postaci:

$$y_t = f(t) + \sum_{i=1}^{n/2} \left[ \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) + \beta_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right] \quad (12)$$

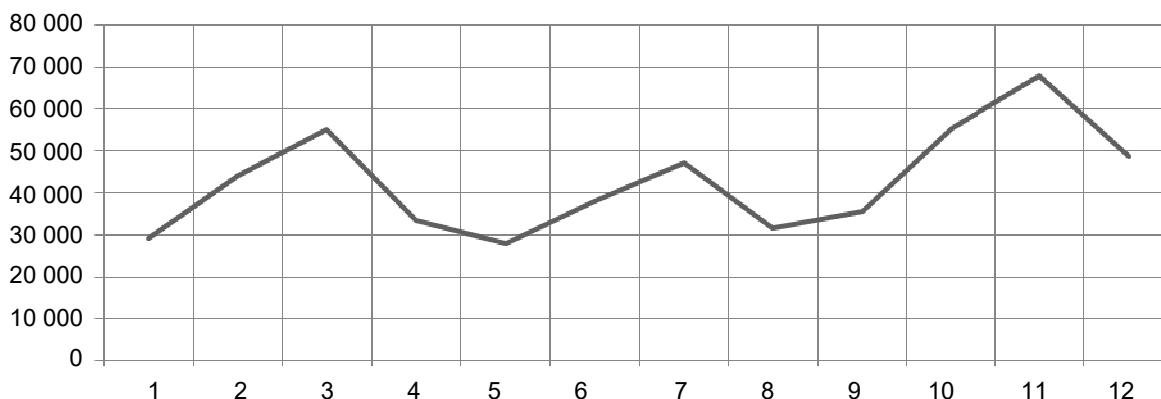
gdzie:

$f(t)$  – funkcja trendu.

Prognoza wyznaczana jest na podstawie wzoru (2) lub wzoru (12) z wykorzystaniem tylko tych harmonik, których udział w wyjaśnianiu wariancji zmiennej prognozowanej jest największy (Zeliaś i in. 2003; Dittmann 2004).

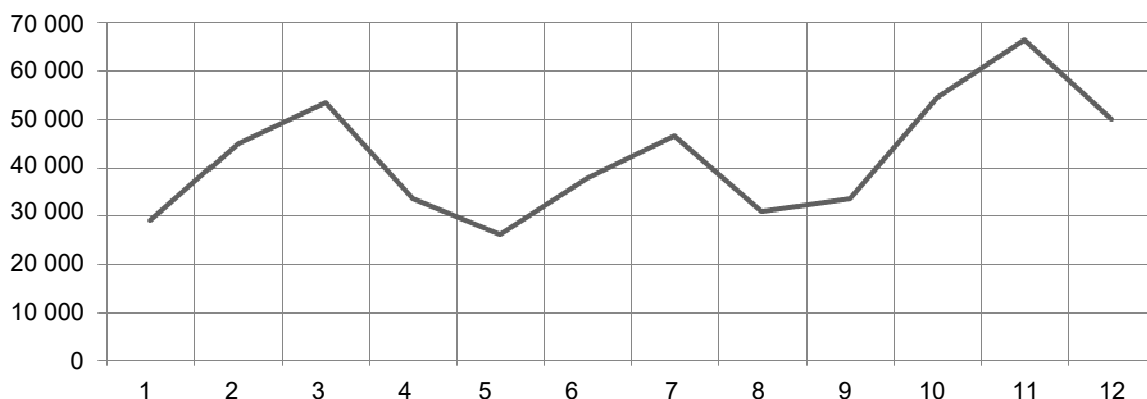
## ANALIZA HARMONICZNA RUCHU PASAŻERSKIEGO

Na rycinach 5–6 przedstawiono kształtowanie się rzeczywistej liczby pasażerów przylatujących i odlatujących z PL Szczecin-Goleniów, w ujęciu kwartalnym.



Ryc. 5. Liczba pasażerów przylatujących do PL Szczecin-Goleniów w latach 2013–2015 – w ujęciu kwartalnym, w osobach

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.



Ryc. 6. Liczba pasażerów odlatujących z PL Szczecin-Goleniów w latach 2013–2015 – w ujęciu kwartalnym, w osobach

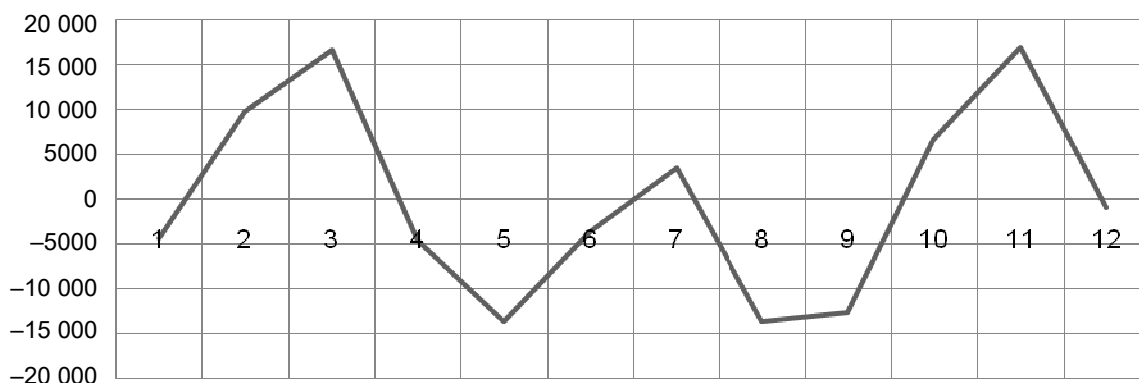
Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.

Analiza wykresów szeregów czasowych liczby pasażerów przylatujących i odlatujących z Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów wskazuje na występowanie w nich trendu, wahań sezonowych oraz wahań przypadkowych. Dlatego możliwe jest wyznaczenie prognoz z wykorzystaniem analizy harmonicznej, z uwzględnieniem trendu.

Ponieważ analiza obejmuje 12 kwartałów, w modelu występuje sześć harmonik (Zeliaś i in. 2003):

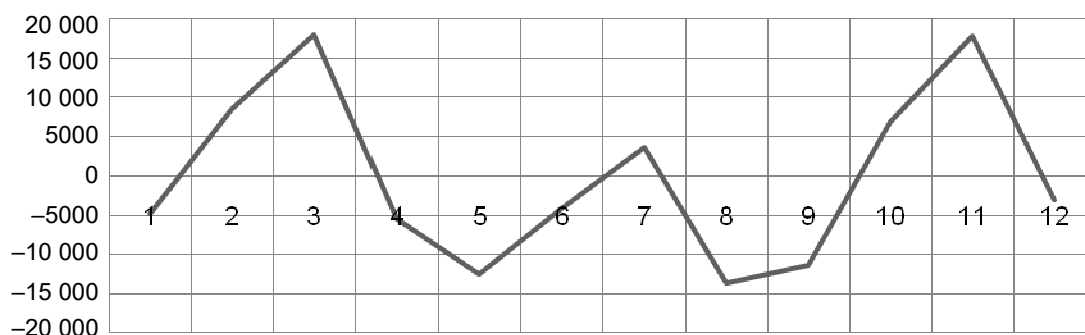
- pierwsza harmonika – 12 kwartałów – 3 lata,
- druga harmonika – 6 kwartałów – 1,5 roku,
- trzecia harmonika – 4 kwartały – rok,
- czwarta harmonika – 3 kwartały,
- piąta harmonika – 2,4 kwartały,
- szósta harmonika – 2 kwartały.

Aby oszacować parametry odpowiednich harmonik, należy wyeliminować trend z wyjściowego szeregu czasowego. Szeregi z wykluczeniem trendu przedstawiono na ryc. 7–8.



Ryc. 7. Liczba pasażerów przylatujących do PL Szczecin-Goleniów w latach 2013–2015 po wyeliminowaniu trendu

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.



Ryc. 8. Liczba pasażerów odlatujących z PL Szczecin-Goleniów w latach 2013–2015 po wyeliminowaniu trendu

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.

Model oszacowany dla liczby pasażerów przylatujących do PL Szczecin-Goleniów ma postać:

$$y_t = 32120,8485 + 1579,7797t + 3420,8098 \sin\left(\frac{2\pi}{12}t\right) + 6617,4480 \cos\left(\frac{2\pi}{12}t\right) - 1452,8079 \sin\left(\frac{2\pi}{12}2t\right) - 107,0297 \cos\left(\frac{2\pi}{12}2t\right) - 11302,7203 \sin\left(\frac{2\pi}{12}3t\right) - 5342,7797 \cos\left(\frac{2\pi}{12}3t\right) + 239,0332 \sin\left(\frac{2\pi}{12}4t\right) - 132,1964 \cos\left(\frac{2\pi}{12}4t\right) - 89,1910 \sin\left(\frac{2\pi}{12}5t\right) + 49,9926 \cos\left(\frac{2\pi}{12}5t\right) - 1060,6399 \cos(\pi t)$$

Pierwsza harmonika wyjaśnia 25,53% wariacji zmiennej prognozowanej, a pozostałe odpowiednio: 1,50%, 72,38%, 0,04%, 0,03% i 0,52%. Największe odchylenia liczby pasażerów, którzy przylatują do badanego portu lotniczego, od linii trendu powodują wahania kwartalne w okresie 3-letnim (harmonika pierwsza) oraz w okresie rocznym – harmonika trzecia. Wyjaśniają one łącznie 97,91% zmienności liczby pasażerów przylatujących do Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów. Dlatego też w modelu uwzględniono tylko te dwie harmoniki:

$$y_t = 32120,8485 + 1579,7797t + 3420,8098 \sin\left(\frac{2\pi}{12}t\right) + 6617,4480 \cos\left(\frac{2\pi}{12}t\right) - 11302,7203 \sin\left(\frac{2\pi}{12}3t\right) - 5342,7797 \cos\left(\frac{2\pi}{12}3t\right)$$

Amplitudy wahań dla obu harmonik są następujące:

- dla harmoniki pierwszej:  $A_1 = 7449,3327$ ,
- dla harmoniki trzeciej:  $A_3 = 12501,8711$ .

Natomiast ich przesunięcia fazowe na osi czasu:

- dla harmoniki pierwszej:  $\phi_1 = 0,9105$ ,
- dla harmoniki trzeciej:  $\phi_3 = 0,7188$ .

Model oszacowany dla liczby pasażerów odlatujących z PL Szczecin-Goleniów ma postać:



$$y_t = 32417,9848 + 1611,1049t + 3093,6092 \sin\left(\frac{2\pi}{12}t\right) + 6251,9971 \cos\left(\frac{2\pi}{12}t\right) - 1845,9860 \sin\left(\frac{2\pi}{12}2t\right) - 1647,5216 \cos\left(\frac{2\pi}{12}2t\right) - 11356,7284 \sin\left(\frac{2\pi}{12}3t\right) - 5599,2716 \cos\left(\frac{2\pi}{12}3t\right) - 13,3624 \sin\left(\frac{2\pi}{12}4t\right) - 154,8549 \cos\left(\frac{2\pi}{12}4t\right) + 252,4771 \sin\left(\frac{2\pi}{12}5t\right) - 79,0402 \cos\left(\frac{2\pi}{12}5t\right) - 1794,8858 \cos(\pi t)$$

Pierwsza harmonika wyjaśnia 22,25% wariacji zmiennej prognozowanej, pozostałe zaś odpowiednio: 2,77%, 73,43%, 0,02%, 0,03% oraz 1,50%. Największe odchylenia liczby pasażerów odlatujących od linii trendu powodują, podobnie jak w przypadku liczby pasażerów przylatujących, wahania kwartalne w okresie 3-letnim (harmonika pierwsza) oraz w okresie rocznym – harmonika trzecia. Wyjaśniają one łącznie 95,68% zmienności liczby pasażerów odlatujących z portu lotniczego. W związku z tym w modelu uwzględniono tylko harmonikę pierwszą i harmonikę trzecią:

$$y_t = 32417,9848 + 1611,1049t + 3093,6092 \sin\left(\frac{2\pi}{12}t\right) + 6251,9971 \cos\left(\frac{2\pi}{12}t\right) - 11356,7284 \sin\left(\frac{2\pi}{12}3t\right) - 5599,2716 \cos\left(\frac{2\pi}{12}3t\right)$$

Amplitudy wahań dla obu harmonik są następujące:

- dla harmoniki pierwszej:  $A_1 = 6975,5204$ ,
- dla harmoniki trzeciej:  $A_3 = 12662,0347$ .

Natomiast ich przesunięcia fazowe na osi czasu:

- dla harmoniki pierwszej:  $\phi_1 = 0,8769$ ,
- dla harmoniki trzeciej:  $\phi_3 = 0,7083$ .

Prognozy dla kolejnych kwartałów 2016 r. wyznaczono na podstawie ekstrapolacji otrzymanych modeli i przedstawiono w tab. 1. Ze względu na specyfikę zmiennych oszacowane prognozy zaokrąglono do pełnych wartości.

Tabela 1. Kwartalna prognoza liczby pasażerów przylatujących i odlatujących z Portu Lotniczego Szczecin-Goleniów na rok 2016

Kwartały	Przyloty	Odloty
I	50 684	50 727
II	52 051	52 125
III	53 425	53 528
IV	54 805	54 939

Źródło: opracowano na podstawie danych z PL Szczecin-Goleniów z lat 2013–2015.

Dane rzeczywiste, dotyczące pierwszego kwartału 2016 r., pozwoliły na wyznaczenie błędów prognozy *ex post*. Bezwzględny błąd prognozy *ex post*, informujący o odchyleniu prognoz od wartości rzeczywistej zmiennej prognozowanej, dotyczący liczby pasażerów przylatujących, wynosi 4785 osób, a dotyczący liczby pasażerów odlatujących – 3103 osoby. Wyznaczenie względnego błędu prognozy *ex post*, informującego o odchyleniu prognozy od wartości rzeczywistej zmiennej prognozowanej, liczone w procentach wartości rzeczywistej, wynosi odpowiednio – 10,43% i – 6,52%. Biorąc pod uwagę krótki okres prognozy, odchylenie to wydaje się znaczne.

## PODSUMOWANIE

Występowanie problemu sezonowości w transporcie lotniczym powoduje obniżenie popytu w niektórych okresach (w badanym okresie pierwszy i czwarty kwartał), a to skutkuje najczęściej niedostatecznym wykorzystaniem miejsc w samolotach oraz przepustowości portów lotniczych. Wywołuje to wyższe koszty, a za tym niższą rentowność prowadzonej działalności. Z drugiej strony, wahania sezonowe wywołujące okresy wzmożonego ruchu pasażerów (głównie trzeci kwartał) skutkują nadmiernym popytem w odniesieniu do możliwości jego zaspokojenia. Może się to wiązać z nieosiąganiem potencjalnych korzyści dotyczących np. braku miejsc w samolotach bądź niedostatkiem personelu obsługi naziemnej. Dlatego też tak ważne jest monitorowanie wahań sezonowych i próba dostosowania do nich elementów prowadzonej przez porty lotnicze działalności.

Przeprowadzona analiza wskazuje na zasadność stosowania analizy harmonicznej do badania ruchu pasażerskiego w transporcie lotniczym. Jednakże wyznaczone błędy prognoz wskazują na potrzebę przeprowadzenia analizy harmonicznej z uwzględnieniem danych miesięcznych. Powinno to pozwolić na uzyskanie prognoz obciążonych mniejszymi błędami.

## PIŚMIENNICTWO

- Barczak A.** 2015a. Pomiar wahań sezonowych ruchu pasażerskiego na przykładzie Portu Lotniczego Gdańsk. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Ser. Oeconomica 321(80)3, 5–14.
- Barczak A.** 2015b. Wykorzystanie wybranych metod ilościowych w analizie pasażerskiego ruchu lotniczego w Polsce. Pr. Nauk. UE Wroc., Ser. Ekonomia 401, 26–35.
- Cieślak M.** 1970. Metody analizy rozwoju zjawisk w czasie, w: Zarys ekonometrii. Red. Z. Hellwig, Warszawa, PWE, 106.
- Cieślak M.** 1997. Organizacja procesu prognostycznego, w: Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Red. M. Cieślak. Warszawa, PWN, 87.
- Dittmann P.** 1997. Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych, w: Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Red. M. Cieślak. Warszawa. PWN. 90.
- Dittmann P.** 2004. Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie. Kraków, Oficyna Ekonomiczna, 92–93.
- Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym z dnia 7 grudnia 1944 r. – Konwencja chicagowska.** DzU z 1959 r., nr 35, poz. 212, z późn. zm., <http://www.ulc.gov.pl/pl/prawo/prawo-mi%C4%99dzynarodowe/206-konwencje>, dostęp: 09.08.2016.
- Pluta-Zaremba A.** 2005. Prognozowanie popytu, w: Logistyka dystrybucji. Specyfika. Tendencje rozwojowe. Dobre praktyki. Red. K. Rutkowski. Warszawa, SGH, 155.
- Zeliaś A., Pawelek B., Wanat S.** 2003. Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania. Warszawa, PWN, 89–90, 110.