

PROGNOZOWANIE LICZBY PASAŻERÓW TRANSPORTU LOTNICZEGO W POLSCE

Michał Gostkowski  <https://orcid.org/0000-0003-3606-1182>

Instytut Ekonomii i Finansów
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: michal_gostkowski@sggw.edu.pl

Ewelina Porowska

Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: ewelina-porowska@wp.pl

Marcin Halicki  <https://orcid.org/0000-0002-5343-0093>

Kolegium Nauk Przyrodniczych
Uniwersytet Rzeszowski
e-mail: mhalicki@ur.edu.pl

Streszczenie: Polski rynek transportu lotniczego stanowi istotną część europejskiego i światowego rynku usług transportowych. Na przestrzeni lat odnotowano dużą dynamikę wzrostu liczby pasażerów transportu lotniczego. W związku z dynamizmem zachodzących zmian pojawiła się potrzeba prognozowania tego zjawiska. W pracy przedstawiono prognozy liczby pasażerów transportu lotniczego w Polsce z zastosowaniem metod wygładzania wykładniczego: Browna, Holta oraz Wintersa w wersji addytywnej i multiplikatywnej. Dokonano również porównania jakości otrzymanych prognoz w oparciu o policzone błędy ex post.

Słowa kluczowe: szereg czasowy, prognozowanie, modele wygładzania wykładniczego

JEL classification: C22, C32

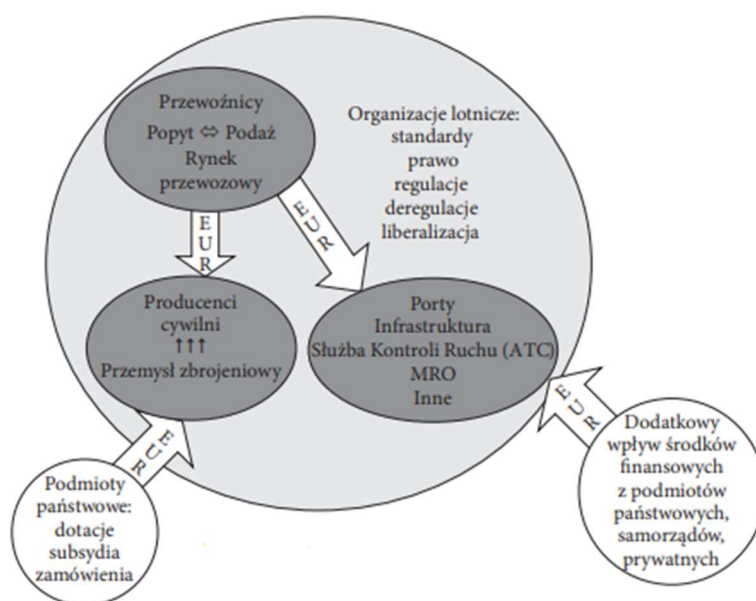
WSTĘP

W ciągu ostatnich kilku lat transport lotniczy zyskał miano najprężniej rozwijającej się gałęzi transportu w Polsce. W dużej mierze wynika to z faktu ciągłego wzrostu procesu globalizacji gospodarek światowych. Dynamiczny rozwój liczby międzynarodowych podmiotów gospodarczych oraz eskalacja swobody

<https://doi.org/10.22630/MIBE.2021.22.2.6>

przepływów ludzi i towarów uczyniły transport głównym filarem gospodarki. Wydarzeniem, które wywarło duży wpływ na sytuację transportu lotniczego w kraju było przystąpienie Polski do Unii Europejskiej. W jego następstwie wprowadzono unijne regulacje prawne, które z kolei spowodowały napływ konkurencji. Postępująca dynamika zapotrzebowania na przewozy lotnicze, a także pojawienie się możliwości pozyskania dofinansowania z funduszy europejskich pociągnęły za sobą dalszy rozwój tej dziedziny transportu.

Rysunek 1. Środowisko rynku transportu lotniczego i jego główne elementy.



Źródło: Ruciński A. (2016) Polski rynek transportu lotniczego w perspektywie 2030 roku. *Studia Oeconomica Posnaniensia*, 4(7), 7-38.

Rynek transportu lotniczego zalicza się do kategorii ekonomicznych. Jego definicja obejmuje obszary, procesy, zależności i uwarunkowania, w których działają przedsiębiorstwa świadczące wyznaczone usługi po stronie podaży oraz odbiorców wyrażających potrzeby względem podmiotów po stronie popytu. Określa się go także mianem struktury spójnej pod względem ekonomicznym i organizacyjnym, zarządzanej oraz regulowanej według wyznaczonych norm, zasad i przepisów. Na rynku dochodzi do wymiany wartości usług i wiadomości, przebiegają procesy konkurencyjne w gałęziowej i międzygałęziowej skali. Podmioty działające w obrębie rynku transportu lotniczego cechują się następującymi właściwościami: (1) dysponują zbliżonymi kwalifikacjami i uprawnieniami, (2) charakteryzują się podobną technologią, (3) stosują podobne materiały, (4) funkcjonują poprzez analogiczne procesy według wspólnych

przepisów prawnych, (5) wykonują działalność używając tych samych (lub analogicznych) kanałów dostawców i dystrybucji.

Specyficzny portret transportu lotniczego w Polsce wpływa na jego znaczne możliwości rozwojowe. Polityka centralnego planowania prowadzona do 1989r. ograniczała działalność podmiotów prywatnych. Dopiero po transformacji ustrojowej pojawiła się przestrzeń dla większego kręgu operatorów lotniczych. Kluczowym momentem w rozwoju tej gałęzi transportu okazało się przystąpienie do Unii Europejskiej, które umożliwiło przystosowanie obowiązujących przepisów i norm do rynkowych wzorców.

Zainicjowano wprowadzanie działań liberalizacyjnych i prywatyzacyjnych zgodnych z regulacjami Unii Europejskiej. Za jedną z najbardziej znaczących kwestii uznano złagodzenie przepisów o wejściu obcych przewoźników na polski rynek. W Unii Europejskiej opierało się to na wdrożeniu trzech pakietów liberalizacyjnych w latach 1987-1992. W ramach przystosowania rynku do warunków europejskich Polska wdrożyła wszystkie trzy pakiety niespełna równocześnie [Rucińska 2012].

Obecnie charakterystycznym wyróżnikiem polskiego rynku transportu lotniczego jest jego wielopodmiotowość. Panująca pod koniec poprzedniego stulecia przewaga tradycyjnych przewoźników, która była następstwem historycznych i naturalnych uwarunkowań, zaczęła się przekształcać w pierwszej dekadzie XXI wieku. Jeszcze w 2002 roku tradycyjni przewoźnicy stanowili prawie 100% udziałów w rynku, ale wstąpienie Polski do Unii Europejskiej okazało się punktem zwrotnym i bardzo szybko wpłynęło na przekształcenia całej struktury. Na przestrzeni lat 2004-2010 udział przewoźników niskokosztowych osiągnął poziom 51,62% degradując przy tym przewoźników tradycyjnych do mniejszości w udziałach rynku [Hoszman 2012]. Zjawisko zdobycia większej części rynku przez przewoźników tanich linii lotniczych w tak krótkim czasie było ewenementem na skalę europejską. Według norm i zasad Unii Europejskiej dokonano podziału polskich lotnisk na porty centralne, regionalne i lokalne [Rucińska i in. 2012; Ruciński 2006; Ruciński 2016].

Tabela 1. Podział portów lotniczych w Polsce

port centralny	porty regionalne	porty lokalne
Lotnisko Chopina w Warszawie	Kraków-Balice Gdańsk im. Lecha Wałęsy Katowice-Pyrzowice Wrocław-Starachowice Poznań-Ławica	Warszawa Modlin Rzeszów-Jasionka Łódź-Lublinek Szczecin-Goleniów Bydgoszcz-Szwederowo Zielona Góra-Babimost Lublin Olsztyn-Mazury

Źródło: opracowanie własne

Przez długi czas infrastruktura transportu lotniczego w Polsce była uzależniona od państwa. Transformacje liberalizacyjne przyczyniły się do modernizacji własnościowego portfela portów. W wyniku przeprowadzonej prywatyzacji partycypantami portów lotniczych w Polsce stały się samorządy, miasta, urzędy wojewódzkie itp. Z uzasadnionych powodów państwo pozostawiło sobie część udziałów [Rucińska 2006; Schoemaker 2004].

Należy zaznaczyć, że rozwój transportu lotniczego jest procesem wielowymiarowym i ewolucyjnym. Oddziaływanie mikro- i makroekonomicznych elementów środowiska rynkowego oraz endo- i egzogenicznych zmiennych z urozmaiconych obszarów działalności człowieka rzutuje na stopień nieprzewidywalności w prognozowaniu przypuszczalnego przebiegu jego rozwoju.

MATERIAŁY I METODY

Do przeprowadzenia badań wykorzystano szereg czasowy zaprezentowany w tabeli 2. Zawiera on dane kwartalne dotyczące liczby obsłużonych pasażerów transportu lotniczego w ruchu krajowym i międzynarodowym – regularnym i czarterowym w Polsce w latach 2008-2018.

Tabela 2. Liczba obsłużonych pasażerów transportu lotniczego w ruchu krajowym i międzynarodowym - regularnym i czarterowym w Polsce w latach 2008-2018 (kwartalnie)

rok/kwartał	liczba pasażerów	rok/kwartał	liczba pasażerów
2008Q1	4 275 010	2013Q3	8 091 353
2008Q2	5 538 226	2013Q4	5 566 924
2008Q3	6 570 120	2014Q1	4 925 451
2008Q4	4 245 495	2014Q2	7 165 732
2009Q1	3 708 974	2014Q3	8 870 441
2009Q2	4 924 133	2014Q4	6 116 346
2009Q3	6 121 487	2015Q1	5 696 952

rok/kwartał	liczba pasażerów	rok/kwartał	liczba pasażerów
2009Q4	4 171 665	2015Q2	8 147 624
2010Q1	3 887 559	2015Q3	9 818 458
2010Q2	5 170 802	2015Q4	6 740 072
2010Q3	6 868 761	2016Q1	6 447 313
2010Q4	4 539 754	2016Q2	8 829 365
2011Q1	3 994 127	2016Q3	10 764 273
2011Q2	5 725 109	2016Q4	7 965 764
2011Q3	7 154 537	2017Q1	7 564 618
2011Q4	4 837 362	2017Q2	10 330 369
2012Q1	4 385 429	2017Q3	12 757 611
2012Q2	6 938 596	2017Q4	9 319 696
2012Q3	7 948 980	2018Q1	8 724 996
2012Q4	5 162 552	2018Q2	12 021 611
2013Q1	4 627 938	2018Q3	14 711 318
2013Q2	6 696 408	2018Q4	10 248 962

Źródło: Urząd Lotnictwa Cywilnego w Warszawie

SZEREG CZASOWY I JEGO WŁASNOŚCI

M. Sobczyk definiuje szereg czasowy jako „ciąg wartości liczbowych badanego zjawiska obserwowanego w kolejnych jednostkach czasu”. W tych szeregach wartości analizowanego zjawiska (zmienna zależna) są funkcją czasu (zmienna niezależna), a zatem ogólną postać szeregu czasowego można przedstawić następująco:

$$y_t = f(t). \quad (1)$$

Zmienna czasowa t przyjmuje postać zbioru punktów na osi czasu bądź krótszych lub dłuższych okresów. Wobec tego dokonuje się podziału na szeregi czasowe momentów i okresów. Szeregi czasowe momentów tworzone są na podstawie wartości dotyczących zasobów i powstają w rezultacie pomiaru rozpatrywanego zjawiska w ściśle określonym punkcie czasowym (tj. zgodnie ze stanem na koniec dnia, miesiąca, itp.). Natomiast szeregi czasowe okresów odnoszą się do strumieni, a powstają na skutek sumowania wartości analizowanego zjawiska dla przedziałów o równych rozpiętościach. Szeregi czasowe są fundamentalnym elementem przeprowadzania badań dynamiki zjawisk. Analiza tego rodzaju zagadnień obejmuje dwa zasadnicze cele: (1) rozpoznanie natury rozpatrywanego zjawiska, (2) prognozowanie przyszłych wartości.

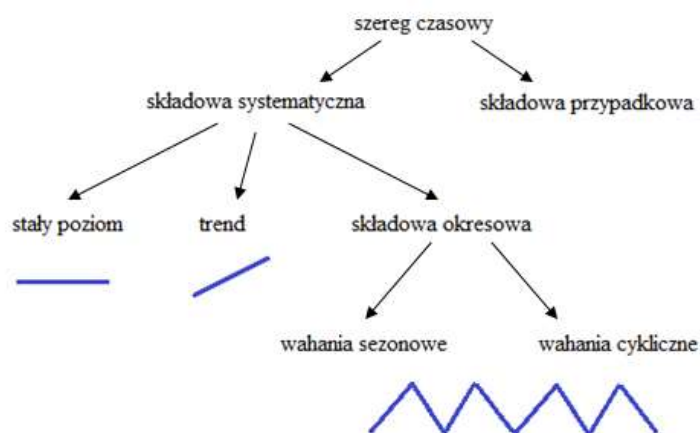
M. Cieślak. podaje, że w szeregach czasowych wyróżnia się dwie składowe: systematyczną, wynikającą z oddziaływań stałego zbioru czynników na zmienną prognozowaną, i przypadkową (często określaną jako składnik losowy lub wahania przypadkowe) [Cieślak 2001]. Składowa systematyczna może przyjąć postać stałego

poziomu prognozowanej zmiennej, tendencji rozwojowej (trendu) lub składowej okresowej (zwanej także periodyczną). Składowa okresowa może wyrażać się w postaci wahań cyklicznych lub sezonowych (rysunek 2).

Tendencja rozwojowa (trend) charakteryzuje się długookresową podatnością do jednokierunkowych przekształceń (wzrostowych lub spadkowych) wartości analizowanej zmiennej. Jest ona następstwem wpływu stałego zestawu czynników. Możliwość wyznaczenia trendu wymaga operowania długim szeregiem czasowym.

Stały poziom prognozowanej zmiennej ma miejsce, kiedy w szeregu nie występuje trend ani wahania okresowe, natomiast wartości prognozowanej zmiennej nieznacznie wahają się wokół stałego poziomu. Wahania cykliczne występują w formie długotrwałych, rytmicznych wahań wartości zmiennej względem jej trendu albo stałego poziomu. Najczęściej są one związane z cyklem koniunkturalnym gospodarki. Wahania sezonowe wyrażają się w postaci powtarzających się w przedziale czasu (nieprzekraczającym roku) wahań wartości zmiennej wokół trendu lub jej stałego poziomu. Powstają one w rezultacie zmian pór roku, podziału roku na kwartały, miesiące itd. [Dittman 2004; Stańko 2013].

Rysunek 2. Podział składowych szeregu czasowego



Źródło: opracowanie własne

Zagadnienie wyznaczenia poszczególnych składowych danego szeregu czasowego definiuje się dekompozycją szeregu. W wielu przypadkach rozpoznanie poszczególnych składowych szeregu czasowego danej zmiennej ułatwia ocena wzrokowa utworzonego wykresu [Cieślak 2001].

W zależności od przyjętych wytycznych odnoszących się do wzajemnych relacji oraz wpływu poszczególnych elementów szeregu czasowego na wartość prognozowanej zmiennej wyróżnia się dwa zasadnicze modele matematyczne: addytywny i multiplikatywny [Charemza, Deadman 1997]:

$$y_t = f(t) + g(t) + \varepsilon_t, \quad (2)$$

$$y_t = f(t) * g(t) * \varepsilon_t, \quad (3)$$

gdzie:

$f(t)$ – funkcja trendu,

$g(t)$ – funkcja wahań okresowych,

ε_t – składnik losowy.

Modele addytywne mają swoje zastosowanie, gdy funkcja trendu przyjmuje postać liniową lub można ją do tej postaci sprowadzić. Założeniem modeli addytywnych jest wzajemna niezależność wszystkich zmiennych w szeregu. W pozostałych przypadkach wykorzystuje się modele multiplikatywne lub mieszane. W modelach multiplikatywnych stały poziom lub trend prezentuje się w jednostkach zmiennej prognozowanej, natomiast pozostałe składowe szeregu traktuje się jako względne odchylenia od trendu.

W obszarze pojęcia prognozowania na przestrzeni lat sprecyzowano wiele definicji prognozy. Polski ekonomista i profesor, Z. Hellwig, stwierdził, że „Prognozą statystyczną nazywać będziemy każdy sąd, którego prawdziwość jest zdarzeniem losowym, przy czym prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest znane i wystarczająco duże dla celów praktycznych”. Czerwiński i Guzik [1980] proponuje inną definicję: „Przez prognozę rozumiemy sąd o zajściu określonego zdarzenia w czasie określonym z dokładnością do momentu (punktu) lub okresu (przedziału) czasu, należącego do przyszłości”. Obaj naukowcy zastosowali słowo sąd w odniesieniu do logiki, tzn. w kontekście zdania oznajmującego przyjmującego wartość logiczną równą prawdzie lub fałszu. Taką wartość można określić dopiero po upływie czasu, na który zbudowano prognozę. Jednak już w momencie tworzenia prognozy istnieje możliwość określenia miary zaufania do niej. Czerwiński i Guzik nie stawiają takich wymagań, w przeciwieństwie do Hellwiga, który wykorzystuje do tego prawdopodobieństwo.

MODELE WYGŁADZANIA WYKŁADNICZEGO

Idea metod wygładzania wykładniczego polega na wygładzaniu szeregu czasowego zmiennej prognozowanej przy użyciu ważonej średniej ruchomej zgodnie z wagami ustalonymi według prawa wykładniczego [Cieślak 2001; Gajda 2001]. Wybór wag bazuje na regule zmniejszania się wartości informacyjnej obserwacji w miarę upływu czasu. Wagi te dążą wykładniczo do zera. Oznacza to, że wraz z przesuwaniem się wstecz szeregu czasowego, każda kolejna wartość tego szeregu ma mniejsze oddziaływanie na tworzone prognozy. Równanie wykładnicze przedstawiające wagę obserwacji o wieku t ma postać:

$$w_t = \alpha(1 - \alpha)^t, \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (4)$$

Parametr α nazywa się stałą wygładzania. Powyższy wzór ukazuje, że jest ona wagą przyporządkowaną ostatniej obserwacji prognozowanej zmiennej. Wartość α bliska zeru świadczy o współmiernym udziale wszystkich obserwacji w budowanej

prognozie. Jeśli natomiast wartość α jest bliska 1, to najświeższa obserwacja ma znacznie większy udział od pozostałych. Wyznaczenie wartości stałej wygładzania zależy od dynamiki zmian szeregu czasowego [Sobczyk 2009].

W zależności od charakteru składowych szeregu czasowego stosuje się różne modele wygładzania wykładniczego. Spośród wielu wymienianych w literaturze modeli najczęściej wykorzystuje się: model Browna, model Holta oraz model Wintersa.

Metoda Browna

Proste wyrównanie wykładnicze opiera się na modelu Browna. Jest on przeznaczony do szeregów czasowych z niemal stałym poziomem zmiennej prognozowanej oraz wahaniami przypadkowymi. Model Browna sprowadza się do wzoru [Brown 1963]:

$$y_t^* = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)y_{t-1}^* \quad (5)$$

Za y_1^* przyjmuje się zazwyczaj:

- wartość pierwszej obserwacji szeregu czasowego $y_1^* = y_1$,
- wartość średniej z n początkowych obserwacji szeregu czasowego $y_1^* = \frac{\sum_1^n y_n}{n}$.

Budując prognozę na okres t uznaje się, że jej wartość będzie równa prognozie z okresu poprzedniego $t-1$ poprawionej o pewny fragment (α) jej bezwzględnego błędu ex post. Wobec tego, jeżeli prognoza określona na okres $t-1$ okazuje się zaniżona w porównaniu do prawdziwej wartości zmiennej prognozowanej, to prognoza wyznaczana na okres t wzrasta, i odwrotnie. Ważną kwestią podczas stosowania modelu Browna jest wybór odpowiedniej wartości stałej wygładzania α . Ten parametr ustala się zazwyczaj eksperymentalnie – tworząc na podstawie próbki wstępnej przewidywania dla różnych wartości α i wybierając spośród nich tę wartość α , dla której średni błąd prognoz wygasłych okazał się najmniejszy.

Metoda Holta

Gdy szereg czasowy zawiera tendencję rozwojową i wahaniami przypadkowe uzasadnione jest zastosowanie podwójnego wygładzania wykładniczego Holta. Model ten wykazuje się większą elastycznością w porównaniu do poprzedniego ze względu na występowanie dwóch parametrów. Podwójne wygładzanie wykładnicze bazuje na trzech równaniach:

- równania stosowanego do określenia wygładzonych wartości szeregu w czasie t :

$$F_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(F_{t-1} + S_{t-1}), \quad (6)$$

- równania wyznaczającego wygładzone wartości trendu na czas t :

$$S_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)S_{t-1}, \quad (7)$$

- równania wykorzystanego do tworzenia prognozy:

$$y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1}. \quad (8)$$

Do budowy modelu Holta niezbędne są początkowe wartości F i S . W literaturze istnieje wiele możliwości na rozwikłanie tego zagadnienia. Najczęściej spotykana propozycja polega na uznaniu za F_1 pierwszej wartości y_1 , a za S_1 wyniku różnicy $y_2 - y_1$ lub zera. Kolejną istotną kwestią jest wyznaczenie wartości parametrów wygładzania α i β . Analogicznie do metody Browna, poszukuje się ich w sposób eksperymentalny, uznając za najlepsze te, które minimalizują średni błąd prognoz wygasłych [Cieślak 2001].

Metoda Wintersa

Potrójne wygładzanie wykładnicze Wintersa znajduje zastosowanie w przypadku szeregów czasowych z tendencją rozwojową, wahaniami przypadkowymi i wahaniami sezonowymi. Można zatem stwierdzić, że model Wintersa stanowi rozszerzenie modelu Holta o uzupełniające równanie wygładzania sezonowości (C_t). Ze względu na możliwość addytywnego i multiplikatywnego charakteru sezonowości wyodrębnia się dwie odmiany modelu Wintersa. Równania addytywnego wariantu modelu [Witkowska i in. 2012]:

$$F_t = \alpha(y_t - C_{t-r}) + (1 - \alpha)(F_{t-1} + S_{t-1}), \quad (9)$$

$$S_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)S_{t-1}, \quad (10)$$

$$C_t = \gamma(y_t - F_t) + (1 - \gamma)C_{t-r}, \quad (11)$$

oraz multiplikatywnego wariantu modelu:

$$F_t = \alpha \frac{y_t}{C_{t-r}} + (1 - \alpha)(F_{t-1} + S_{t-1}), \quad (12)$$

$$S_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)S_{t-1}, \quad (13)$$

$$C_t = \gamma \frac{y_t}{F_t} + (1 - \gamma)C_{t-r}, \quad (14)$$

Równanie prognozy na czas $t > n$ w wersji addytywnej modelu:

$$y_t^* = F_n + S_n(t - n) + C_{t-r} \quad (15)$$

oraz w wersji multiplikatywnej modelu:

$$y_t^* = [F_n + S_n(t - n)]C_{t-r}, \quad (16)$$

gdzie n to liczba wyrazów szeregu czasowego prognozowanej zmiennej.

Zastosowanie tego modelu wymaga przyjęcia pewnych założeń. Za wartość początkową F można uznać pierwszą wartość obserwacji lub średnią wartość obserwacji z pierwszego cyklu. Wartość S_1 da się wyznaczyć jako różnicę drugiej i pierwszej wartości obserwacji lub różnicę średnich wartości dla drugiego i pierwszego cyklu. Natomiast za C można przyjąć obliczoną na podstawie szeregu czasowego średnią różnic (w modelu addytywnym) lub ilorazów (w modelu multiplikatywnym), odpowiadających temu samemu etapowi cyklu sezonowego,

wartości prognozowanej zmiennej oraz wygładzonych wyrównanych wartości trendu.

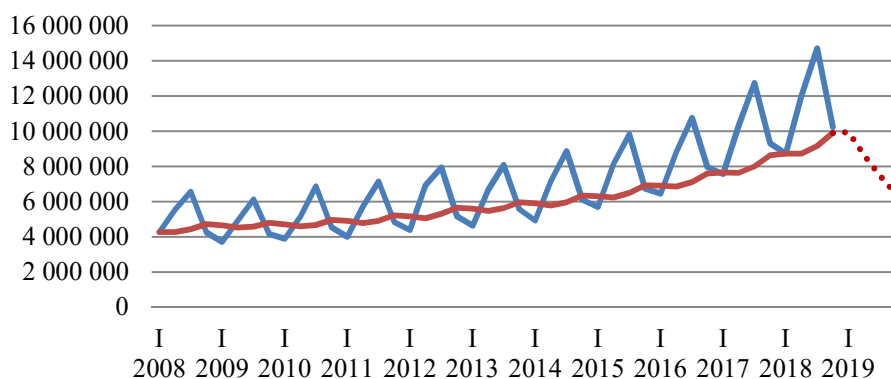
Literatura podaje wiele sugestii odnośnie doboru typowych wartości stałych wygładzania. Przy szybkich zmianach poszczególnych składowych szeregu czasowego zaleca się ustalić parametry α, β, γ na poziomie bliskim jedności, zaś w przeciwnym przypadku na poziomie bliskim zera. Istnieje także możliwość eksperymentalnego wyboru tych parametrów [Sobczyk 2009].

WYNIKI

Metoda Browna

Przy minimalizacji średniego procentowego błędu prognoz MAPE otrzymano parametr wygładzania $\alpha=0,13$. Wyniki prognoz zaprezentowano na rysunku 3.

Rysunek 3. Porównanie rzeczywistej liczby pasażerów transportu lotniczego i wartości wygładzonych za pomocą metody Browna



Źródło: opracowanie własne

Z obserwacji wykresu wynika, że prognozy utworzone za pomocą metody Browna znacznie odbiegają od rzeczywistych wartości. W celu dokładnej weryfikacji dopuszczalności modelu obliczono błędy ex post zawarte w tabeli 3.

Tabela 3. Błędy prognoz ex post otrzymane za pomocą metody Browna

Rodzaj błędu	Wartość
MAPE	18,89%
RMSE	12 622 617
V_{RMSE}	180,14%

Źródło: opracowanie własne

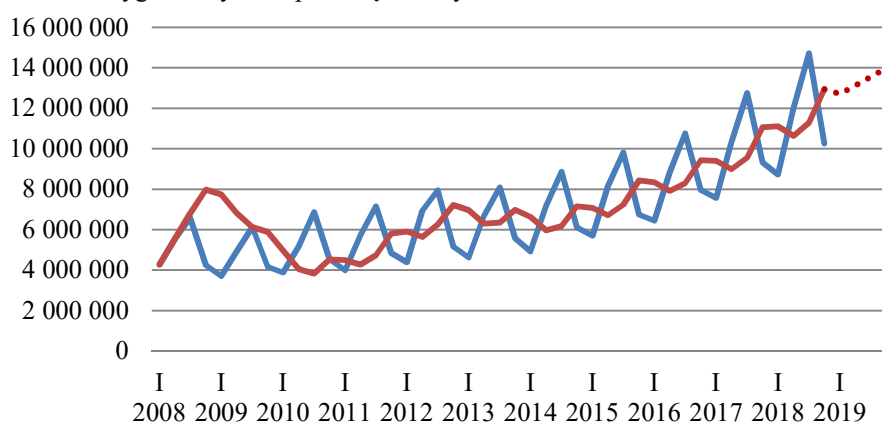
Błąd MAPE informuje, że zbudowana prognoza różni się średnio o +/- 18,89% od rzeczywistych wartości liczby pasażerów transportu lotniczego w Polsce.

Biorąc pod uwagę wysoką wartość tego wskaźnika, prognozę należy uznać za niedopuszczalną (błąd powyżej 5%).

Metoda Holta

Mając na uwadze minimalizację błędu MAPE uzyskano następujące wartości parametrów wygładzania: $\alpha=0,24$ i $\beta=0,63$. Obliczone wyniki przedstawiono na rysunku 4.

Rysunek 4. Porównanie rzeczywistej liczby pasażerów transportu lotniczego i wartości wygładzonych za pomocą metody Holta



Źródło: opracowanie własne

Analiza wykresu w tym przypadku również wskazuje na duże rozbieżności pomiędzy wyznaczoną predykcją a rzeczywistą liczbą obsłużonych pasażerów transportu lotniczego. Aby jednak zweryfikować te przypuszczenia dokonano obliczeń błędów ex post.

Tabela 4. Błędy prognoz ex post otrzymane za pomocą metody Holta

MAPE	26,81%
RMSE	12 774 615
V_{RMSE}	182,31%

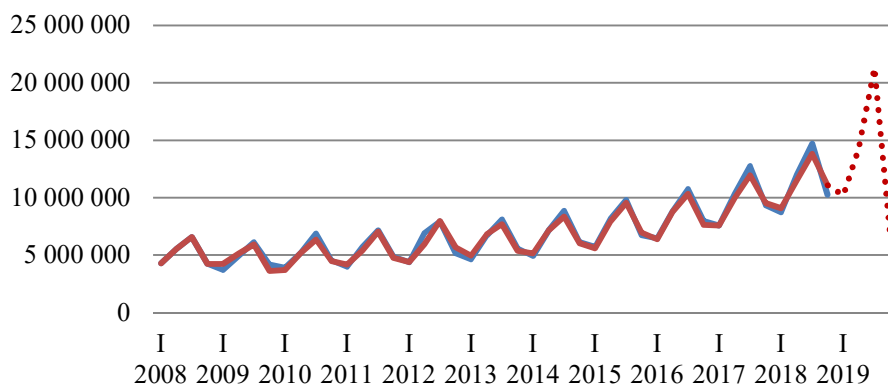
Źródło: opracowanie własne

Wyznaczone błędy świadczą o niskiej jakości prognoz zbudowanych za pomocą metody Holta. Błąd MAPE na poziomie 26,81% wskazuje, że utworzona prognoza różni się średnio aż o +/- 26,81% od rzeczywistych wartości badanego zjawiska, a to kwalifikuje ją jako niedopuszczalną.

Metoda Wintersa wersja addytywna

W wyniku minimalizacji błędu MAPE w addytywnej wersji metody Wintersa otrzymano współczynniki wynoszące odpowiednio $\alpha=0,57$, $\beta=0,13$ i $\gamma=1,00$. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 5.

Rysunek 5. Porównanie rzeczywistej liczby pasażerów transportu lotniczego i wartości wygładzonych za pomocą metody Wintersa w wersji addytywnej



Źródło: opracowanie własne

Według danych przedstawionych na wykresie wyznaczone prognozy osiągają poziom zbliżony do rzeczywistej liczby obsłużonych pasażerów. W celu weryfikacji tych założeń policzono błędy ex post przedstawione w tabeli 5.

Tabela 5. Błędy prognoz ex post otrzymane przy metodzie Wintersa w wersji addytywnej.

MAPE	3,84%
RMSE	373 371
VRMSE	5,33%

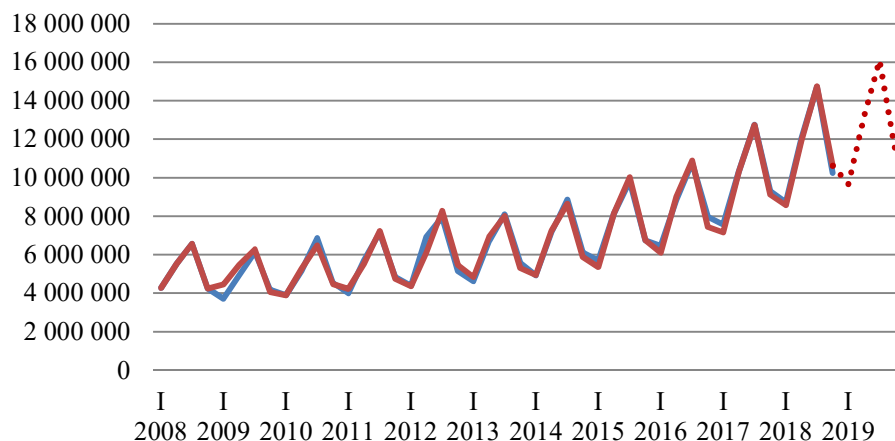
Źródło: opracowanie własne

W przypadku użycia addytywnej metody Wintersa błędy prognoz ex post oscylują wokół znacznie niższych wartości niż w metodzie Browna i metodzie Holta. Średni procentowy błąd prognozy MAPE wynosi 3,84%.

Metoda Wintersa wersja multiplikatywna

Optymalne parametry wygładzania zastosowane do multiplikatywnej wersji modelu Wintersa wyniosły: $\alpha=0,45$, $\beta=0,23$ i $\gamma=0,74$. Wyniki predykcji zaprezentowano na rysunku 6.

Rysunek 6. Porównanie rzeczywistej liczby pasażerów transportu lotniczego i wartości wygładzonych za pomocą metody Wintersa w wersji multiplikatywnej



Źródło: opracowanie własne

Obserwując rysunek 6 można stwierdzić, że utworzona predykcja jest dobrze dopasowana do rzeczywistej liczby pasażerów transportu lotniczego. W celu weryfikacji tych przypuszczeń obliczono błędy prognoz przedstawione w tabeli 6.

Tabela 6. Błędy prognoz ex post otrzymane przy metodzie Wintersa w wersji multiplikatywnej

MAPE	3,21%
RMSE	277 038
V_{RMSE}	3,95%

Źródło: opracowanie własne

Prognozy wyznaczone przy użyciu metody Wintersa w wersji multiplikatywnej różnią się od rzeczywistej liczby obsłużonych pasażerów transportu lotniczego średnio o +/- 3,21%.

Porównanie jakości prognoz

Do utworzenia prognoz liczby pasażerów transportu lotniczego wykorzystano cztery modele wygładzania wykładniczego: model Browna, model Holta, model Wintersa w wersji addytywnej oraz model Wintersa w wersji multiplikatywnej. Za miernik ich dopuszczalności przyjęto średni błąd procentowy MAPE oraz pierwiastek błędu średniokwadratowego RMSE. Otrzymane w ten sposób wyniki zaprezentowane w tabeli 7.

Tabela 7. Zestawienie otrzymanych wyników

Metoda	MAPE	RMSE	VRMSE
Model Browna	18,89%	12 622 617,15	180,14%
Model Holta	26,81%	12 774 614,62	182,31%
Model Wintersa addytywny	3,84%	373 371,44	5,33%
Model Wintersa multiplikatywny	3,21%	277 038,47	3,95%

Źródło: opracowanie własne

Wysokie wartości błędów MAPE kwalifikują prognozy utworzone za pomocą modelu Browna i modelu Holta jako niedopuszczalne. Wyznaczone za ich pomocą predykcje w dużej mierze odbiegają od rzeczywistych wartości liczby obsłużonych pasażerów transportu lotniczego. Potwierdza to hipotezę o dokładniejszych wynikach prognoz uzyskanych metodą Wintersa ze względu na występowanie w analizowanym szeregu czasowym sezonowości kwartalnej, trendu rosnącego oraz składnika losowego.

Błędy prognoz MAPE zbudowanych za pomocą metody Wintersa zarówno w wersji addytywnej, jak i multiplikatywnej nie przekraczają 5%. Według literatury można je zatem uznać za dopuszczalne. Najdokładniejszą z zastosowanych metod okazała się metoda Wintersa w wersji multiplikatywnej, która oprócz najmniejszej wartości błędu MAPE ma również najmniejszy błąd RMSE oraz błąd względny V_{RMSE} .

PODSUMOWANIE

Do jednego z najprężniej rozwijających się obszarów transportu w Polsce zalicza się transport lotniczy. Jego znaczny potencjał rozwojowy jest konsekwencją historycznych i geograficznych uwarunkowań. Obecna sukcesywna modernizacja portów lotniczych oraz inwestycje infrastrukturalne zwiększają ich przepustowość, a także komfort warunków podróżowania przyczyniają się do coraz większej liczby pasażerów. Transport lotniczy determinuje rozwój gospodarki światowej związanej z transferem ludzi, towarów i informacji. Wyznacza on osiągalność rynków o coraz większym obszarze geograficznym, zmniejszając przy tym czas i koszty oraz zwiększając jednocześnie tempo i rozmiar wymiany ładunków.

Rynek transportu lotniczego w Polsce posiada rozbudowaną historię, która wyjaśnia jego unikatową charakterystykę. Do 1989 roku polityka centralnego planowania prowadzona przez państwo znacznie ograniczała możliwości rozwojowe podmiotów prywatnych. Dopiero transformacje systemowe zapoczątkowały kształtowanie się wolnego rynku. Za przełomowy moment w historii transportu lotniczego przyjmuje się jednak przystąpienie Polski do Unii Europejskiej w maju 2004 roku. To wydarzenie zainicjowało ogromną metamorfozę polskiego rynku. Skupiono się na wprowadzeniu praktyk liberalizacyjnych zgodnych z obowiązującymi w Unii Europejskiej. Najistotniejszą kwestią okazało się złagodzenie przepisów o dostępie obcych przewoźników do polskiego rynku.

W ciągu zaledwie kilku lat przewoźnicy niskokosztowi zdominowali strukturę rynku burząc jego pierwotny kształt. Przemiany objęły nie tylko przewoźników, ale również porty lotnicze. Podjęto starania o podwyższenie warunków i konkurencji. Największymi beneficjentami liberalizacji stały się lotniska regionalne, które wcześniej odnotowywały bardzo niskie udziały w rynku, a obecnie stanowią jego mocny filar. Konsekwencją wymienionych transformacji był kilkukrotny wzrost ruchu pasażerskiego i dynamiczny rozwój transportu lotniczego.

Pomimo okresowych problemów związanych z sytuacją gospodarczą, koniunkturą polityczną oraz dostępnością przekazników energii, rozwój transportu lotniczego ma postać ciągłą. Biorąc pod uwagę intensyfikującą się globalizację, a w związku z nią konieczność wydajnego i bezpiecznego transportowania pasażerów oraz towarów godzi się postawić hipotezę o nieustającym dynamizmie przyszłych zmian tego zjawiska. W tym miejscu może pojawić się pytanie o stopień i kierunek nadchodzących transformacji.

Od dawna zdobycie wiedzy o przyszłości jest jednym z głównych pragnień ludzkości. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym zaczęły pojawiać się różne metody naukowe bazujące na poszukiwaniu korelacji pomiędzy zdarzeniami z przeszłości mogącymi uwarunkowywać przyszłość. Do takich metod zalicza się prognozowanie pozwalające na naukowe wyznaczanie przyszłych zdarzeń. Prognozowanie umożliwia przygotowanie się na różnorodne ewentualności podczas planowania działań oraz podejmowania decyzji.

Na przestrzeni ostatnich lat prognozowanie osiągnęło szczególne znaczenie ze względu na bardzo dynamiczne zmiany zachodzące w różnych dziedzinach gospodarki, które wywołują wzrost ryzyka i niepewności. Zastosowanie odpowiednich prognoz może w znacznym stopniu ograniczyć ryzyko podejmowania niewłaściwych decyzji. W przypadku transportu lotniczego prognozowanie jest niezbędnym elementem skutecznego i sprawnego zarządzania portami lotniczymi. Poza tym, wczesna informacja dotycząca wielkości ruchu lotniczego umożliwia przystosowanie lotnisk i przewoźników do zachodzących zmian. Utworzone prognozy znajdują zastosowanie nie tylko w zarządach linii lotniczych, czy u producentów statków powietrznych, ale także wśród bankowców i zainteresowanych administracji rządowych.

BIBLIOGRAFIA

- Brown R.G. (1963) Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series. McGraw Hill, New York.
- Charemza W. W., Deadman D. F. (1997) Nowa ekonometria. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Cieślak M. (2001) Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Czerwiński Z., Guzik B. (1980) Prognozowanie ekonometryczne. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

- Dittman P. (2004) Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie. Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- Gajda J. B. (2001) Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze. Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa.
- Hoszman A. (2012) Wpływ regulacji na sektor pasażerskiego transportu lotniczego. Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
- Rucińska D. (2012) Polski rynek usług transportowych – funkcjonowanie, przemiany, rozwój. PWE, Warszawa.
- Rucińska D., Ruciński A., Tłoczyński D. (2012) Transport lotniczy – ekonomika i organizacja. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Ruciński A. (2006) Porty lotnicze wobec polityki otwartego nieba. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Ruciński A., Madej K. (2016) Polski rynek transportu lotniczego w perspektywie 2030 roku. *Studia Oeconomica Posnaniensia*, 4(7), 7-38.
- Schoemaker P. I. H. (2004) Forecasting and Scenario Planning: The Challenges of Uncertainty and Complexity. [In:] Koehler D. J, Harvey N (eds) *Blackwell Handbook of Judgement and Decision Making*. Blackwell Publishing Ltd.
- Sobczyk M. (2009) Prognozowanie: teoria, przykłady, zadania. Wydawnictwo PLACET, Warszawa.
- Stańko S. (2013) Prognozowanie w agrobiznesie: teoria i przykłady zastosowania. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Tłoczyński D. (2013) Kierunki rozwoju transportu lotniczego. *Studia Ekonomiczne/Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Współczesne uwarunkowania rozwoju transportu w regionie*, 143, 381-398.
- Witkowska D., Matuszewska-Janica A., Kompa K. (2012) Wprowadzenie do ekonometrii dynamicznej i finansowej. Warszawa.

FORECASTING THE NUMBER OF AIR TRANSPORT PASSENGERS IN POLAND

Abstract: The Polish air transport market constitutes a significant part of the European and world transport services market. Over the years, there has been a high dynamics of growth in the number of air transport passengers. Due to the dynamism of the changes taking place, there has been a need to forecast this phenomenon. The paper presents forecasts of the number of air transport passengers in Poland with the use of exponential smoothing methods: Brown, Holt and Winters in additive and multiplicative versions. The quality of the obtained predictions was also compared based on the calculated ex post errors.

Keywords: time series, forecasting, exponential smoothing models

JEL classification: C22, C32