

Artur KIERZKOWSKI¹

MODELOWANIE PROCESU OBSŁUGI STATKÓW POWIETRZNYCH

Artykuł porusza zagadnienie modelowania procesu obsługi dla statków powietrznych. Zagadnienie to jest niezwykle istotne dla Tanich Linii Lotniczych. Przewoźnicy ci ze względu na minimalizację kosztów pragną wykorzystywać maksymalnie czas pomiędzy przeglądami technicznymi. Przedstawione zostały możliwości modelowania liczby statków powietrznych znajdujących się w danym porcie lotniczym, które wymagają obsługi jak również zaprezentowana została metoda oceny niezawodności wykonania obsługi dla kilku statków powietrznych, które wymagają obsługi we wskazanym przedziale czasu.

MODELING OF MAINTENANCE AIRCRAFT PROCESS

Low Cost Airlines are the part of the air transport market and their distinctive aim is to maximise the in-service time of airships and, at the same time, collect the maximum number of passengers while offering them the possibly lowest ticket price. The service process of airships has to be properly scheduled. So the precise modeling of the service process as well as the effectiveness research are crucial. Such research can be executed in a few ways. One of them is described in details in this paper.

1. WSTĘP

Planowanie przeglądów technicznych z wykorzystaniem maksymalnych czasów pomiędzy nimi jest zagadnieniem niezwykle skomplikowanym i zostało opisane w [1]. Spełnione musi być kilka warunków: siatka połączeń musi uwzględniać chwilę wykonania przeglądu [2], ostatni rejs musi kończyć się w porcie lotniczym w którym obsługa może być wykonana, stacja obsługowa musi być zdolna do wykonania odpowiedniej liczby operacji. Sposób zarządzania statkami powietrznymi, modelowanie siatki połączeń oraz zależność pomiędzy siatka połączeń a przeglądami technicznymi zostały opisane w [3]. Zagadnienie obsługi statku powietrznego w porcie lotniczym jest niezwykle istotne. Istnieje

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych; 50-370 Wrocław; ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27.
Tel: +48 71 320-23-91, Fax: +48 71 322 76 45 E-mail: artur.kierzkowski@pwr.wroc.pl

wiele sposobów prognozowania ilości oraz częstości prac obsługowych. Zastosować można teorię szeregów czasowych modelując na podstawie danych historycznych szereg czasowy.

$$z_t = m_t + s_t + e_t \quad (1)$$

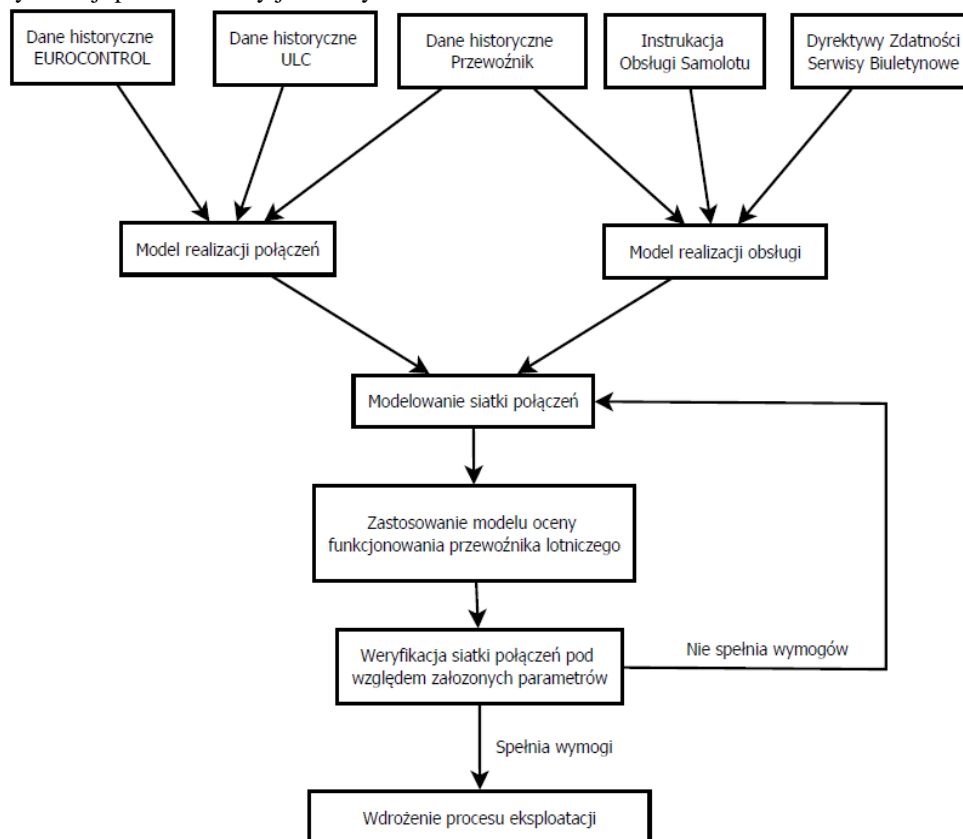
gdzie:

m_t – składowa trendu

s_t – składowa sezonowości

e_t – składowa losowa

Problem jednak pojawia się gdy stosunek składowej losowej do składowej sezonowości i trendu jest duży (w praktyce większy od 2). Konieczne jest więc poszukiwanie rozwiązania dającego większe przybliżenie. Najczęściej stosuje się symulacje komputerowe, które przy zadaniu odpowiednich rozkładów do danych umożliwiają odwzorowanie procesu eksploatacji przed wprowadzeniem siatki połączeń. Schemat symulacji przedstawiony jest na rysunku 1.

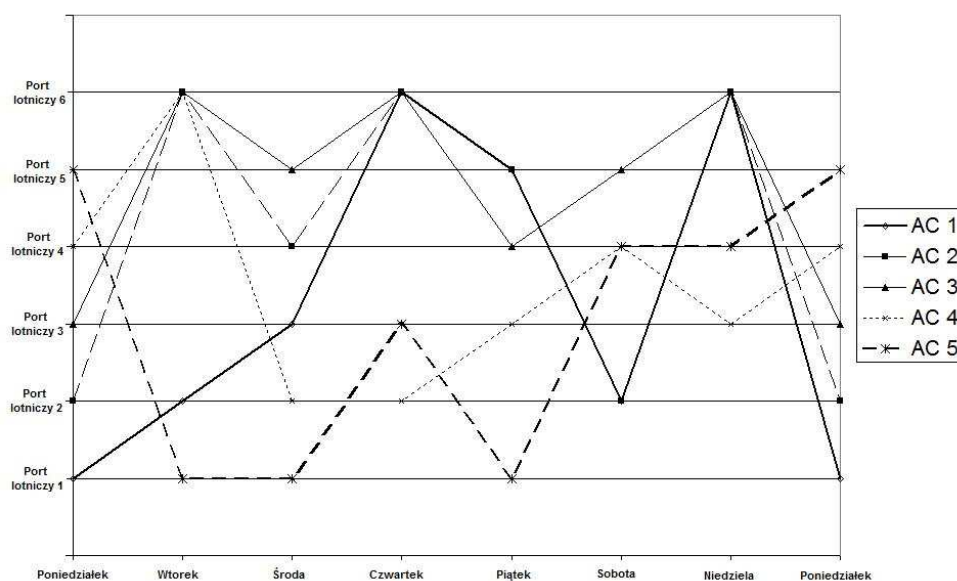


Rys.1. Schemat symulacji komputerowej eksploatacji statków powietrznych.

Kluczowym jest aby aproksymacja danych historycznych rozkładami prawdopodobieństwa była jak najbardziej dokładna.

2. MODELOWANIE NATĘŻENIA PRZEGLĄDÓW TECHNICZNYCH

Niezwykle istotnym zagadnieniem utrzymania ciągłej zdatności do lotu jest poprawne planowanie prac obsługowych dla statków powietrznych. Kluczowe dla przewoźnika lotniczego jest równomierne rozłożenie prac obsługowych na wszystkie statki powietrzne tak aby nie nastąpiło spiętrzenie konieczności wykonania prac obsługowych w jednym terminie. Prace obsługowe które wykluczają statek powietrzny z możliwości jego użytkowania muszą być odpowiednio zaplanowane oraz zależne z siatką połączeń [4]. Zagadnienie to jest niezwykle istotne w przypadku przewoźników niskokosztowych, którzy nie posiadają własnych stacji obsługowych. Usługa ta jest wykonywana przez stacje obsługowe innych przewoźników. Najczęściej ze względu na redukcję kosztów wykonywane są tylko w nielicznych portach lotniczych [5]. Przykład niepoprawnego planowania przeglądów technicznych wraz z błędami w planowaniu siatki połączeń przedstawiony został na rysunku 2.



Rys.2. Rotacja statków powietrznych podczas procesu eksploatacji.

Obsługa techniczna wykonywana jest tylko w porcie lotniczym 6. Zauważyć należy spiętrzenie konieczności wykonania obsługi we wtorek, czwartek i niedzielę na kilku statkach powietrznych.

Na potrzeby symulacji komputerowej wykonana musi zostać aproksymacja rozkładu gęstości prawdopodobieństwa liczby statków powietrznych jakie muszą zostać poddane

obsłudze w danym dniu. Kluczowym jest by rozkład ten był jak najbardziej zbliżony z rzeczywistością. W tabeli 1 zestawione są dane (z okresu prawie 5 lat – 1775 dni) liczby statków powietrznych przebywających w porcie lotniczym, które muszą mieć wykonane obsługi techniczne.

Tab. 1. Zestawienie liczby statków powietrznych wymagających obsługi z częstością ich wykonania

Obserwowana liczba statków powietrznych	Częstość występowania
0	559
1	623
2	367
3	155
4	55
5	16

W celu symulacji procesu eksploatacji floty statków powietrznych konieczne jest zamodelowanie rozkładu gęstości prawdopodobieństwa liczby statków powietrznych w porcie lotniczym, które podczas wieczornego oczekiwania na wykonywanie zadań transportowych muszą odbyć obsługę techniczną.

Ze względu na dyskretność rozpatrywanego przykładu kluczowe jest zbadanie dopasowania rozkładu gęstości prawdopodobieństwa Poissona (ozn. $Poi(\lambda)$). W celu aproksymacji wartości λ obliczyć należy wartość średnią, która dla tabeli 1 wynosi 1,1955. Wartości obserwowane wraz z wielkościami aproksymowanymi o rozkładzie $Poi(1,1955)$ zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Aproksymacja danych rozkładem Poissona

Obserwowana liczba statków powietrznych	Częstość	$Poi(1,1955)$
0	559	537
1	623	642
2	367	384
3	155	153
4	55	45
5	16	11

Testy zgodności wskazują na dobre dopasowanie pomiędzy danymi obserwowanymi a aproksymowanymi. Zauważyć należy że dokładność rozkładu w ogonie nie jest najlepsza. Konieczne jest zastosowanie mieszaniny rozkładów Poissona. Dystrybuanta takiego rozkładu będzie miała postać: $F_X(z) = p_1 F_1(z) + (1-p) F_2(z)$. Przy zastosowaniu pakietu statystycznego otrzymujemy następujące wartości: $p_1=0,7$, $F_1(z)=Poi(0,98)$ natomiast $F_2(z)=1,75$. Sposób wyznaczania wielkości zostanie opisany w oddzielnym artykule. W tabeli 3 zestawiono wszystkie aproksymacje wraz z wielkościami obserwowanymi.

Tab. 3. Aproksymacja danych mieszaniną rozkładów Poissona

Obserwowane ilość statków powietrznych	Częstość	Poi(1,1955)	Mieszanina Poi(0,98) Poi(1,75)
0	559	537	558
1	623	642	618
2	367	384	365
3	155	153	155
4	55	45	54
5	16	11	16

Zauważyć należy że rozkład mieszaniny rozkładów Poissona w sposób bardzo dobry aproksymuje dane historyczne nawet w ogonie dystrybuanty. Zastosowanie takiego przybliżenia w symulacji komputerowej spowoduje większą dokładność otrzymanych wyników.

3. MODELOWANIE CZASU OBSŁUGI STATKÓW POWIETRZNYCH

Podstawowym problemem modelowania czasu obsługi statków powietrznych jest posiadanie odpowiednich danych historycznych tego procesu. Najczęściej uzyskać można informacje dotyczące całego procesu obsługi, pomimo że instrukcja obsługi technicznej przewiduje czasochłonność wykonania poszczególnych czynności danej obsługi. Dodatkowo informacje czasu całej obsługi są przybliżane. W tabeli 2 przedstawione są czasy wykonania jednego z przeglądów dla samolotu Airbus 320.

Tab. 4. Częstości wykonania przeglądu zadanego typu dla samolotu Airbus 320

Czas wykonania	60	80	100	120	150	180	210
Częstość	0,07	0,15	0,29	0,33	0,12	0,03	0,01

Powyższe informacje umożliwiają modelowanie procesu obsługi. W rozdziale 2 poruszony został problem ilości statków powietrznych jakim muszą zostać poddane procesowi obsługi w jednym czasie. Zauważyć należy (z tab.1), że maksymalna liczba statków powietrznych jakie muszą zostać poddane obsłudze w jednym czasie wynosi 5. Kluczowe jest więc wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa sumy 0, 1, 2, 3, 4, 5, niezależnych zmiennych losowych. Przypadki sumy 0 i 1 obsługi są bardzo proste ponieważ w przypadku gdy nie dochodzi do obsługi nie ma gęstości rozkładu prawdopodobieństwa czasu wykonania obsługi. Gdy wykonywana jest obsługa jednego statku powietrznego rozkład gęstości prawdopodobieństwa czasu wykonania obsługi zadany jest tabelą 2.

Bardziej skomplikowana sytuacja ma miejsce gdy wyznaczyć należy rozkład gęstości prawdopodobieństwa $S_N = X_1 + \dots + X_N$ $N \in \{2, \dots, 5\}$ obsługi N statków powietrznych gdy czasy wykonania obsługi są niezależne od siebie. Skorzystać należy z funkcji tworzących prawdopodobieństwo oraz rozwinięcia ich w szereg Taylora.

Funkcją tworzącą prawdopodobieństwa zmiennej losowej X nazywamy funkcję $f : R \rightarrow R$ określoną następująco: $f_X(t) = E(t^X)$. Rozwijając definicję otrzymuje się:

$$f_X(t) = E(t^X) = \sum_{k=0}^{\infty} P(X = k)t^k \quad (2)$$

Funkcja tworząca prawdopodobieństwo dla danych zawartych w tabeli 2 na postać:

$$f_X(t) = 0,07 \cdot t^{60} + 0,15 \cdot t^{80} + \dots + 0,01 \cdot t^{210} \quad (3)$$

Kolejnym krokiem jest określenie ilości zmiennych losowych N (ilości statków powietrznych). Przyjmijmy, że interesuje nas przypadek kiedy 4 statki powietrzne wymagają obsługi w jednym czasie ($N=4$).

Ponieważ rozwijanie funkcji tworzącej rozkład prawdopodobieństwa w szereg Taylora jest bardzo proste jednak bardzo czasochłonne, skorzystać można z programu komputerowego np. Maple.

Schemat skryptu wygląda w sposób następujący:

```
restart;
with(plots):
a:=60; b:=80; c:=100; d:=120; e:=150; f:=180; g:=210;
p1:=0.07; p2:=0.15; p3:=0.29; p4:=0.33;
p5:=0.12; p6:=0.03; p7:=1-p1-p2-p3-p4-p5-p6;
n:=4;
L:=max(a,b,c,d,e,f,g)*n;
polyx:=p1*t^a+p2*t^b+p3*t^c+p4*t^d+p5*t^e+p6*t^f+p7*t^g;
polys:=taylor((polyx)^n,t=0,L+1);
probab:=[seq(coeff(polys,t,k),k=0..L)];
Index:=[seq(r,r=0..L)];
Graph:=zip((u,v)->[u,v],Index,probab):plot(Graph,style=LINE);
```

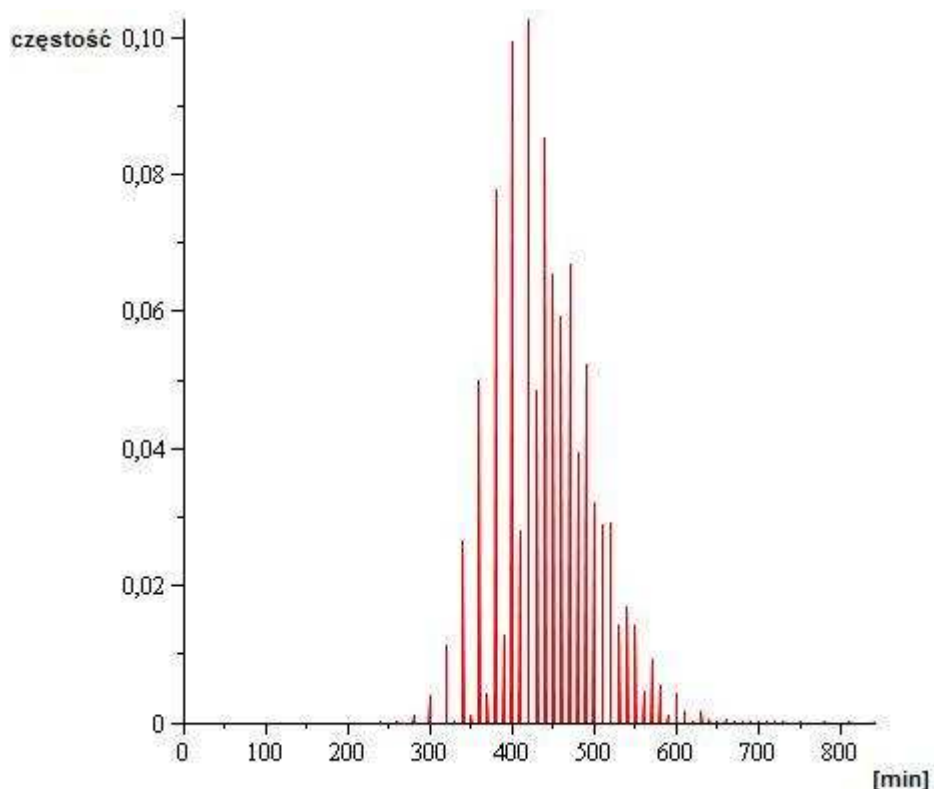
Otrzymujemy rozwinięcie funkcji tworzącej rozkład prawdopodobieństwa (funkcję tworzącą rozkładu sumy):

$$P_S(t) = 0,00002401t^{240} + 0,00020580t^{260} + \dots + 1,2 \cdot 10^{-7} t^{810} + 1 \cdot 10^{-8} t^{840} \quad (4)$$

Współczynniki przy n -tej potędze informuje nas o wartości prawdopodobieństwa

$$P(S_N) = n$$

Wykres częstości wygląda w sposób następujący:



Rys.3. Częstość czasu wykonywania obsługi dla sumy obsług 4 statków powietrznych

Stworzenie rozkładu na rysunku 3 umożliwia określenie wartości prawdopodobieństwa wykonania obsługi bez wprowadzenia zakłóceń przy zadanym czasie możliwości wykonania obsługi t . Załóżmy, że wszystkie 4 statki powietrzne kończą wykonywanie zadań transportowych w porcie obsługowym o godzinie 23. Czynności obsługowe można więc zacząć wykonywać o 23.30. Statki powietrzne rozpoczynają rejsy następnego dnia o godzinie 6.00 więc maksymalny czas do którego należy wykonać obsługę to 5.30. Czas obsługi wynosi więc 6 godzin czyli 360 minut. Wartość $P(S_4 < 360) = 0,0942$. Sytuacje takie zdarzają się jednak bardzo rzadko co wynika z tabeli 1. Dla porównania $P(S_2 < 360) = 0,9993$, $P(S_3 < 360) = 0,7624$.

Modelowania procesu obsługowego można więc rozpatrywać na wiele sposobów:

- dla założonych ilości statków które muszą mieć wykonane przeglądy techniczne zmieniać czas potrzebny na wykonanie obsługi,
- dla założonych czasów obsługi i częstości nie dopuszczać do sytuacji w której ilość statków powietrznych które muszą mieć wykonane obsługi spowoduje przekroczenie założonej wartości prawdopodobieństwa,

- wykonywać przeglądy przed wykorzystaniem maksymalnego interwału, dzierżawić obsługę od innych stacji itp.

Głównym czynnikiem decyzyjnym są koszty, przewoźnicy lotniczy oponują za niskimi kosztami przy wysokim standardzie i dużej ilości miejsc obsługowych (względnie dużej). W takich sytuacjach stacje obsługowe dostosowują się do przewoźników ograniczając koszty, utrzymując standardy lotnicze jednak ograniczają personel oraz ilość miejsc obsługowych dostosowując ich ilość do średniej ilości obsługiwanych statków.

4. PODSUMOWANIE

W referacie zostały zaprezentowane możliwości modelowania procesu obsługi statków powietrznych. Poruszone zostały bardzo istotne zagadnienia z punktu widzenia linii lotniczej. Modelowanie przemieszczeń statków powietrznych oraz przyporządkowywanie statków powietrznych do portów lotniczych obsługowych jest niezwykle skomplikowane. Możliwość oceny niezawodności wykonania obsługi przy ograniczonych możliwościach stacji obsługi jest zjawiskiem istotnym.

Dalsze prace będą prowadzone w kierunku oceny niezawodności przeprowadzenia obsługi technicznej, jednak dla przeglądów różnej kategorii oraz dla zbioru stacji obsługowych. Wykonany zostanie model niezawodności realizacji połączeń lotniczych, który będzie określał możliwości zamiany zadań transportowych pomiędzy statkami powietrznymi oraz w połączeniu z modelem obsługi technicznej określał będzie prawdopodobieństwo wykonania obsługi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kierzkowski A.: *Problems of identification of operation processes for low cost carriers* Journal of KONBiN 2008, vol. 3, nr 3, s. 281-287.
- [2] Talluri K.: *The aircraft maintenance routing problem* Operation Research 1998, vol. 46, nr 46, s. 260-271.
- [3] Kierzkowski A.: *Problemy oceny efektywności procesu eksploatacji samolotów przewoźników niskokosztowych*, Niezawodność systemów antropotechnicznych : XXXVII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk, [11-17 stycznia] 2009. Radom : Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, cop. 2009. s. 157-167.
- [4] Bard J.: *Flight scheduling and maintenance base planning* Management Science 1989, vol. 35, nr 12, s. 1415-1432.
- [5] Kierzkowski A.: *Analiza funkcjonowania tanich linii lotniczych*, Logistyka 2/2008.