



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**BADANIA OPERACYJNE I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE,
PRZESTRZEŃ, OPTYMALIZACJA**

**Olgierd Hryniewicz,
Andrzej Straszak,
Jan Studziński
red.**



**BADANIA OPERACYJNE
I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE, PRZE-
STRZEŃ, OPTYMALIZACJA**

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH • POLSKA AKADEMIA NAUK

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 63

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2008

Olgierd Hryniewicz, Andrzej Straszak, Jan Studziński

**BADANIA OPERACYJNE I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE, PRZESTRZEŃ,
OPTIMALIZACJA**

Publikacja była opiniowana do druku przez zespół recenzentów, którego skład podano w treści tomu

Opinie, wyrażone przez autorów w pracach, zawartych w niniejszym tomie, nie są oficjalnymi opiniami Instytutu Badań Systemowych PAN, ani Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych.

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN & Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych
Warszawa 2008

ISBN 83-894-7519-7
EAN 9788389475190

Redakcja i opracowanie techniczne: Jan W. Owskiński, Aneta M. Pielak, Anna Gostyńska

**Lista recenzentów
artykułów, wchodzących w skład tomów serii „Badania Systemowe”
związanych z konferencją BOS 2008**

Dr Paweł Bartoszczuk
Dr inż. Lucyna Bogdan
Dr hab. inż. Zbigniew Buchalski
Mgr inż. Hanna Bury
Prof. dr hab. Marian Chudy
Dr Jan Gadomski
Mgr Grażyna Grabowska
Mgr inż. Andrzej Jakubowski
Dr hab. inż. Ignacy Kaliszewski
Dr Andrzej Kałużko
Dr hab. Leszek Klukowski
Dr hab. inż. Wiesław Krajewski
Dr inż. Lech Kruś
Dr hab. inż. Marek Libura
Dr Barbara Mażbic-Kulma
Dr inż. Edward Michalewski
Dr inż. Jan W. Owiński
Dr inż. Grażyna Petriczek
Dr inż. Henryk Potrzebowski
Dr Maciej Romaniuk
Prof. dr hab. Piotr Sienkiewicz
Dr hab. Henryk Spustek
Prof. dr hab. Andrzej Straszak
Dr hab. inż. Jan Studziński
Prof. dr hab. Tomasz Szapiro
Mgr Anna Szediw
Dr inż. Grażyna Szkatuła
Dr hab. inż. Tadeusz Witkowski
Dr Irena Woroniecka-Leciejewicz
Dr hab. Sławomir Zadrożny
Dr inż. Andrzej Ziółkowski

**Komitet Konferencji
Badania Operacyjne i Systemowe 2008
Rembertów, Akademia Obrony Narodowej**

Patronat honorowy

Bogdan Klich, Minister Obrony Narodowej
Maciej Nowicki, Minister Środowiska i Zasobów Naturalnych

Komitet Sterujący

Janusz Kacprzyk, Prezes Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych
Olgięrd Hryniewicz, Dyrektor Instytutu Badań Systemowych
Janusz Kręćikij, Komendant Akademii Obrony Narodowej

Komitet Programowy

Piotr Sienkiewicz, *Przewodniczący*
Jacek Mercik, *Wiceprzewodniczący*

<i>Tomasz Ambroziak</i>	<i>Ryszard Budziński</i>	<i>Wojciech Cellary</i>
<i>Marian Chudy</i>	<i>Ludostaw Drelichowski</i>	<i>Jerzy Hołubiec</i>
<i>Olgięrd Hryniewicz</i>	<i>Adam A. Janiak</i>	<i>Jerzy Józefczyk</i>
<i>Ignacy Kaliszewski</i>	<i>Józef Korbicz</i>	<i>Maciej Krawczak</i>
<i>Piotr Kulczycki</i>	<i>Małgorzata Łatuszyńska</i>	<i>Marek J. Malarski</i>
<i>Barbara Mażbic-Kulma</i>	<i>Zbigniew Nahorski</i>	<i>Andrzej Najgebauer</i>
<i>Włodzimierz Ogryczak</i>	<i>Wojciech Olejniczak</i>	<i>Jan W. Owsiański</i>
<i>Andrzej Piegat</i>	<i>Krzysztof Santarek</i>	<i>Roman Słowiński</i>
<i>Honorata Sosnowska</i>	<i>Henryk Spustek</i>	<i>Jan Stachowicz</i>
<i>Andrzej Straszak</i>	<i>Tomasz Szapiro</i>	<i>Andrzej Szymonik</i>
<i>Ryszard Tadeusiewicz</i>	<i>Eugeniusz Toczyłowski</i>	<i>Tadeusz Trzaskalik</i>
<i>Jan Węglarz</i>	<i>Tadeusz Witkowski</i>	<i>Stanisław Zajas</i>
	<i>Bogdan Zdrodowski</i>	

Komitet Organizacyjny

Jan W. Owsiański, Andrzej Kałusko, Mieczysław Pelc, Zbigniew Piątek

Sekretariat

Krystyna Warzywoda, Monika Majkut, Aneta M. Pielak, Krzysztof Sep,
Anna Stachowiak, Halina Świeboda, Tadeusz Winiarski

Redakcja wydawnictw

Janusz Kacprzyk, Piotr Sienkiewicz, Andrzej Najgebauer,
Olgięrd Hryniewicz, Andrzej Straszak, Jan Studziński,
Jan W. Owsiański, Zbigniew Nahorski, Tomasz Szapiro

Przestrzeń i transport

ANALIZA REALIZACJI PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Anna Kwasińska

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa
akw@it.pw.edu.pl

W artykule skupiono się na wstępnej analizie elementarnych czynności występujących podczas obsługi naziemnej samolotów. Bazowanie na wysoce dokładnej informacji o stanie gotowości wszystkich samolotów do startu jest podstawą do określania przedstartowej kolejności, wpływającej na przepustowość portu lotniczego.

1. Wstęp

Obsługa naziemna w portach lotniczych stanowi jeden z ważniejszych składników procesu transportowego. Składa się ona z szeregu różnych czynności obsługowych na stanowisku postojowym. Właściwa organizacja zwiększa bezpieczeństwo i minimalizuje czas przebywania samolotu w porcie lotniczym.

Jednym z podstawowych kryteriów oceny jakości świadczonych usług przewozów lotniczych, poza bezpieczeństwem, jest terminowość. Określenie dokładnego czasu opuszczenia miejsca postojowego samolotu, ma istotny wpływ na kolejność startów innych samolotów uwzględniając konieczne separacje. To z kolei oddziałuje na przepustowość drogi startowej, na której wykonywane są operacje startów. Uwzględnić należy wykonywane operacje lądowania, które traktowane są priorytetowo.

2. Metody sieciowe

Techniki sieciowe są najczęściej stosowane do planowania i kontroli realizacji złożonych przedsięwzięć, dla których bez względu na ich charakter i rodzaj można wyodrębnić wspólne elementy. Są nimi: czynność, zdarzenie i zależność czasowa.

Budowa sieci zależności polega na ustaleniu sposobu odwzorowania poszczególnych elementów sieci. W sieciach stochastycznych każda czynność jest realizowana z określonym prawdopodobieństwem. W każdej sieci zależności należy określić czasy trwania poszczególnych czynności.

Najważniejszymi metodami sieciowymi są PERT (Program Evolution and Review Technique – technika oceny i kontroli programu) oraz CPM (Critical Path Metod – metoda ścieżki krytycznej).

PERT i CPM są powszechnie stosowane i wywierają znaczny wpływ na planowanie oraz kontrolę projektów i programów. Pierwotnie PERT i CPM były tak pracochłonne i kosztowne, że używano je jedynie do najbardziej złożonych projektów, w których czas odgrywał rolę krytyczną jak np.: budowa autostrad, statków czy wprowadzanie wielkich systemów przetwarzania danych.

Obecnie, oprócz powstałych w latach sześćdziesiątych metod analiz sieciowych istnieje kilkadziesiąt metod, które są wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu. Istotny etap w rozwoju sieci stochastycznych to opracowanie metody GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), która służy do analizy sieci stochastycznych typu GAN.

Metoda GERT została opracowana przez Pritskera, Happa i Whitehouse'a poprzez połączenie koncepcji:

- budowy sieci PERT,
- grafów przepływów sygnałów,
- algebry grafów opracowanej przez S. Elmaghrabiego,
- stosowania elementów logicznych w sieciach.

Procedura stosowania metody GERT zawiera kilka etapów postępowania:

- odwzorowanie i opisanie procesu za pomocą sieci stochastycznej,
- zebranie i analiza niezbędnych danych liczbowych charakteryzujących obciążenie w sieci,
- wyznaczenie prawdopodobieństw i czasów realizacji,
- wykonanie analizy sieci.

Do modelowania procesów złożonych metodą GERT potrzebne są następujące charakterystyki sieci:

- prawdopodobieństwo realizacji,
- dane dotyczące czasu trwania poszczególnych procesów,
- typ rozkładu,
- dane dotyczące węzłów.

Ogólna procedura algorytmów stosowana w metodzie GERT sprowadza się najczęściej do wyznaczenia prawdopodobieństwa realizacji zdarzeń końcowych oraz wariancji rozkładów czasów osiągnięcia tych zdarzeń.

3. Obsługa naziemna

Naziemna obsługa samolotów, między rejsami, jest procesem złożonym wykonywanym w określonym czasie. Składa się ona z szeregu czynności obsługowych występujących równolegle lub następujących po sobie. Analiza i przewidywanie czasu zakończenia obsługi naziemnej pozwala na oszacowanie czasu startu samolotu i uszeregowanie go w odpowiedniej kolejności do startu.

Samolot po wykonaniu operacji lądowania i opuszczeniu drogi kołowania umieszczany jest na przydzielonym mu miejscu postojowym, na którym odbywa się obsługa naziemna. Przygotowania do obsługi konkretnego samolotu odbywają się już w momencie jego lądowania, tak by w chwili wkołowania na pozycję postojową wszystkie odpowiedzialne służby już tam się znajdowały. Czas pomiędzy umieszczeniem samolotu na miejscu postojowym a momentem uruchomienia silników przeznaczony jest na wykonanie niezbędnych czynności. Jego długość zależy przede wszystkim od wielkości, a więc typu samolotu, chociaż zdarza się, że dla różnych przewoźników lotniczych obowiązują inne czasy obsługi dla tego samego typu samolotu. Czas na obsługę naziemną samolotu uzależniony jest również od rodzaju rej-sów, pomiędzy którymi jest liczony.

Przed rozpoczęciem obsługi naziemnej samolot podłączany jest do wyposażenia naziemnego. Każdej z wymienionych czynności obsługowych przypisany jest czas jej wykonania. Wszystkie czasy wykonywania operacji elementarnych mają dla danego portu lotniczego i danego operatora czasy normatywne.

Kolejność czynności obsługi naziemnej jak i ich zakres uwarunkowany jest wymogami technicznymi, bezpieczeństwa oraz handlowymi. Bez względu na warunki atmosferyczne i sytuację ruchową w porcie lotniczym, czynności te muszą być rozpoczęte i zakończone w ściśle określonym czasie.

Po wykonaniu wszystkich czynności obsługowych samolot przygotowany jest do startu i przed rozpoczęciem kołowania otrzymuje wszystkie niezbędne informacje dotyczące operacji startu. Całkowity czas kołowania jest to czas potrzebny na przemieszczenie się samolotu z pozycji postojowej do pozycji oczekiwania na zajęcie drogi startowej. Zezwolenie na start samolotu, kończące lotniskowe operacje naziemne, może być wydane, gdy istnieje pewność, że zachowane będą odpowiednie separacje na drodze startowej i w rejonie podejścia do lądowania.

W celu analizy dokonano identyfikacji elementarnych czynności obsługi naziemnej. Przeprowadzone zostały badania w porcie lotniczym Warszawa Okęcie uwzględniające przewoźników niskokosztowych. Rejestracji i badaniu podlegał czas rozpoczęcia i zakończenia czynności obsługowych.

Zostały pomierzone czasy trwania następujących czynności podczas postoju samolotów na miejscach postojowych:

- wyjście pasażerów,
- wyladunek bagażu,
- tankowanie paliwa,
- załadunek bagażu,
- wejście pasażerów,
- obsługa techniczna.

Przewoźnicy nisko-kosztowi dążą do minimalizacji czasu postoju samolotów poprzez ograniczenie do niezbędnego minimum elementarnych czynności wykonywanych podczas postoju samolotu na miejscu postojowym, rezygnując z takich

czynności jak: sprzątanie pokładu, zaopatrywanie bufetów pokładowych po każdym rejsie. Odbywa się to kosztem obniżenia komfortu pasażerów, na co tradycyjni przewoźnicy, choćby ze względu na posiadanie w swoich samolotach klasy business, nie mogą sobie pozwolić.



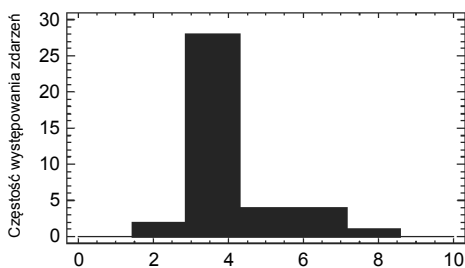
Rys. 1. Sieć czynnościowa operacji naziemnych dla przewoźników niskokosztowych.

Rys. 1 przedstawia sieć czynnościową operacji wykonywanych podczas obsługi naziemnej samolotów przewoźników nisko-kosztowych, takich jak: Easy Jet, Bmi, Germanwings, Norwegian, Sky Europe oraz Wizzair. Ze względu na małą liczbę pomiarów, pominięto obsługę kabinową oraz wyposażenie pokładu. Wśród wszystkich pomiarów, zanotowano czterokrotnie obsługę kabinową i pięciokrotnie wyposażenie pokładu. Zebrane dane posłużyły do określenia wartości średnich, wariancji oraz odchylenia standardowego. Wszystkie wyniki parametrów losowych dla pomierzonych czynności zawarte są w Tabelcy 1.

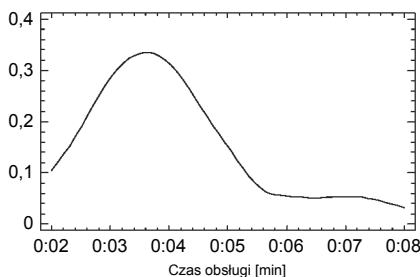
Tabelca 1. Parametry losowe dla wybranych czynności.

Parametry statystyczne	Wyjście pasażerów	Wylądunek bagażu	Tankowanie	Załadunek bagażu	Wejście pasażerów	Obsługa techniczna
Liczność	39	39	31	39	39	25
Średnia [min]	4,051	6,794	9,258	10,359	5,743	6,08
Wariancja [min]	1,892	7,588	14,464	21,341	5,564	41,326
Odchylenie standardowe [min]	1,375	2,754	3,803	4,619	2,358	6,428

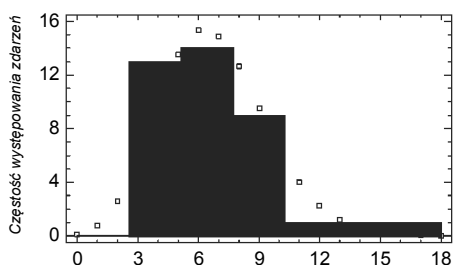
Wykorzystując program Statgraphics Plus 5.1 zidentyfikowano funkcje gęstości prawdopodobieństwa oraz dystrybuanty rozkładów zmiennych losowych czasów trwania operacji na miejscach postojowych przedstawione na Rys. 2-13.



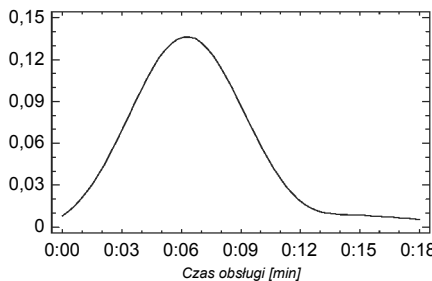
Rys. 2. Histogram częstości występowania czasów wyjścia pasażerów z samolotu



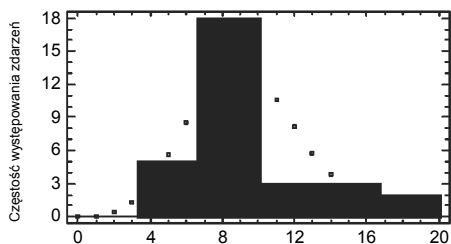
Rys. 3. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasów wyjścia pasażerów z samolotu



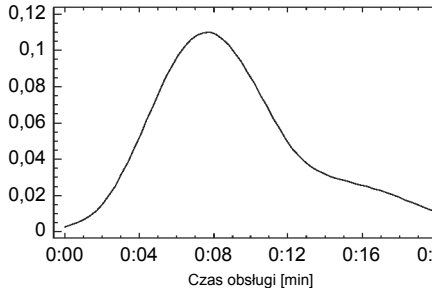
Rys. 4. Histogram częstości występowania czasów wyładunku bagażu z samolotu



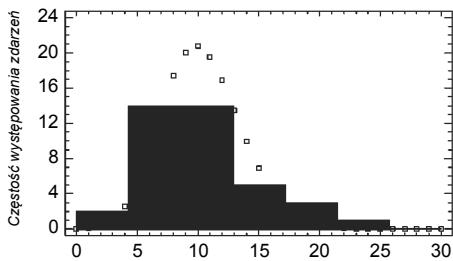
Rys. 5. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasów wyładunku bagażu z samolotu



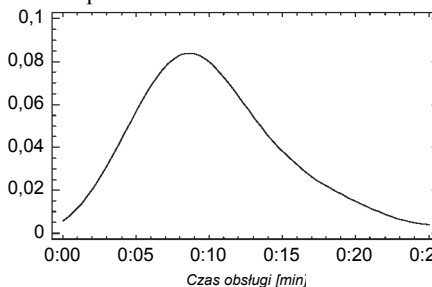
Rys. 6. Histogram częstości występowania czasów tankowania samolotu



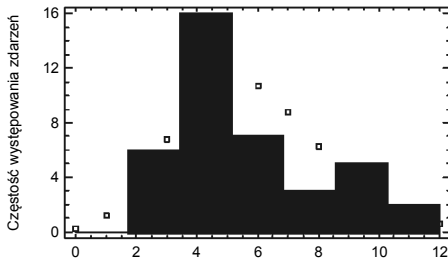
Rys. 7. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasów tankowania samolotu



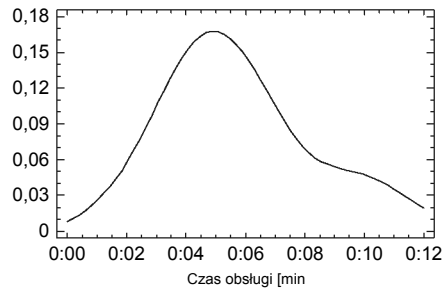
Rys. 8. Histogram częstości występowania czasów załadunku bagażu do samolotu



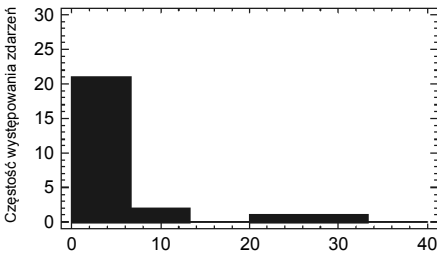
Rys. 9. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasów załadunku bagażu do samolotu



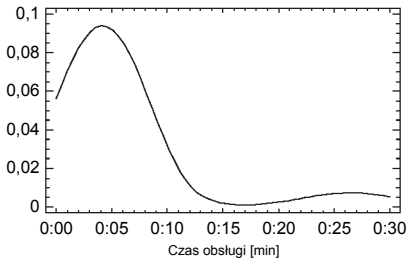
Rys. 10. Histogram częstości występowania czasów wejścia pasażerów do samolotu



Rys. 11. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasów wejścia pasażerów



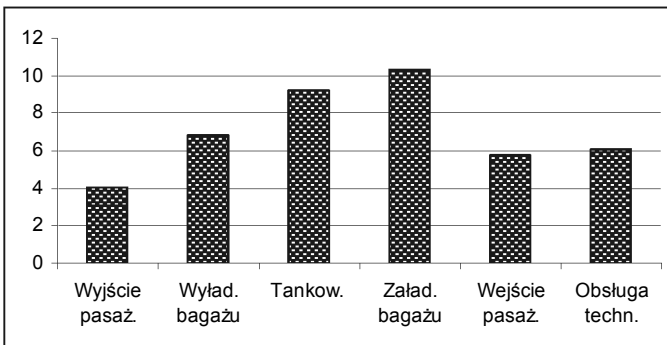
Rys. 12. Histogram częstości występowania czasów obsługi technicznej samolotu



Rys. 13. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa obsługi technicznej

Dotychczasowe badania rzeczywistych czasów obsługi naziemnej samolotów, pozwoliły zidentyfikować częściową zgodność z rozkładami Poissona następujących operacji: wejście pasażerów, wyładunek i załadunek bagażu oraz tankowanie paliwa.

Rys. 14 przedstawia wykres średnich czasów trwania czynności obsługowych.

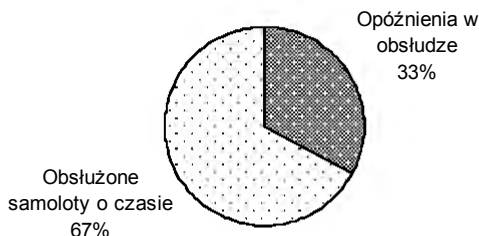


Rys. 14. Średnie czasy trwania danych czynności.

Źródło: Opracowanie własne.

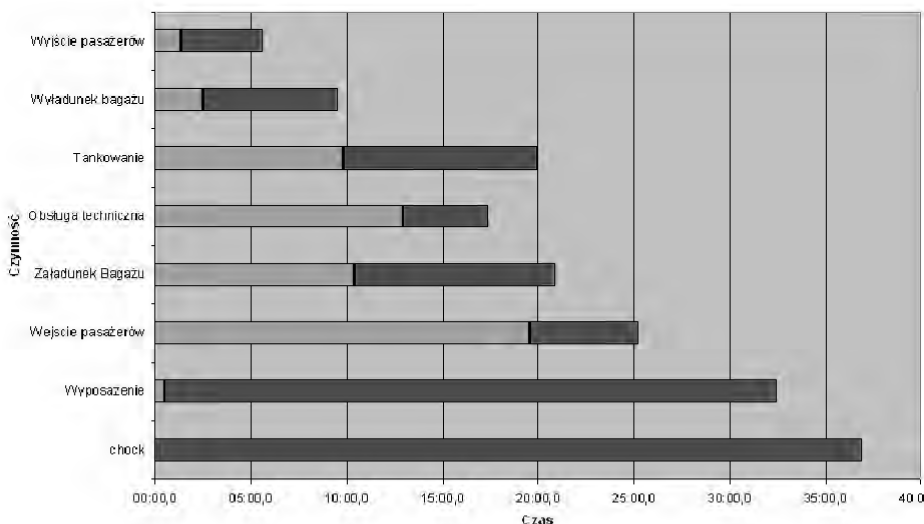
Analiza realizacji procesu obsługi naziemnej

Po obsłudze naziemnej samoloty przygotowywane są do operacji startu. Podczas wykonywania pomiarów wyniki pokazały, że ponad 33 % obsługiwanych samolotów było odprawianych z opóźnieniem w granicach od 2 min do 57 minut.



Rys. 15. Udział opóźnionych operacji startów samolotów.

Odpowiedzialne za obsługę służby muszą wykonywać swoje czynności zgodnie z określonymi procedurami wynikającymi z przepisów krajowych oraz międzynarodowych (w różnych warunkach atmosferycznych).



Rys. 16. Wykres Gantta dla przewoźników niskokosztowych.

Nieodzownym narzędziem opisującym, a także pozwalającym na identyfikację błędów i bardzo szybkie wprowadzanie korekt kolejności oraz czasu wykonywania poszczególnych czynności jest stosowanie harmonogramów obsługi naziemnej. Rys. 16 przedstawia wykres Gantta dla analizowanych przewoźników niskokosztowych.

4. Wnioski

Wstępnie otrzymane wyniki stanowią podstawę do analizy przepustowości portu lotniczego dla operacji naziemnych.

Szczegółowa analiza czynności obsługowych samolotów stanowić będzie bazę do opracowania algorytmu koordynacji ruchu lotniskowego.

Koordynacja ruchu lotniskowego pozwoli na:

- zwiększenie przepustowości portów lotniczych (z istniejącymi drogami startowymi);
- poprawę sprawności realizacji lotniskowych operacji naziemnych samolotów
- i przepływu informacji w portach lotniczych;
- analizę procesu decyzyjnego i jego wpływu na wykorzystanie istniejącej infrastruktury portów lotniczych;
- utrzymanie lub podniesienie poziomu bezpieczeństwa w trakcie normalnych i niekorzystnych warunków funkcjonowania portów lotniczych.

Na tej podstawie zdefiniowane zostaną operacje obsługi naziemnej wpływające znacząco na całkowity czas danego typu samolotu.

Literatura

- Anagnostakis I., Clarke J-P. (2003) Runway Operations Planning: A Two-Stage Solution Methodology, *Proc. of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03)*.
- Atkin J., Burke E., Greenwood J., Reeson D. (2004) Departure Runway Scheduling at London Heathrow Airport. Extended Abstract. School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham, National Air Traffic Services Ltd.
- Bartoszewicz J. (1989) *Wykłady ze statystyki matematycznej*. PWN, Warszawa.
- Bocian L., Juchnikowski G. (1979) Metoda sieciowa GERT. *Informatyka* 11.
- Codina E., Marin A. (2006) A Multiobjective Oriented Network Model for on the Ground Aircraft's Routing Evaluation. Polytechnic University of Catalonia, Polytechnic University of Madrid, Spain.
- European CDM website (bez daty) Collaborative Decision Making for the ATM Industry, <http://www.euro-cdm.org/>.
- Giedymin O., Bałtowski M. (1981) *Metody sieciowe – Wykłady i zadania*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin.
- Idris, H.R. (2000) *Observation and Analysis of Departure Operations at Boston Logan International Airport*. Massachusetts Institute of Technology.
- Ignasiak E. (1975) *Programowanie sieciowe*. PWE, Warszawa.
- Lehmann E. (1968) *Testowanie hipotez statystycznych*. Warszawa.
- Malarski M. (2006) *Inżynieria ruchu lotniczego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Mercik J.W. (1979) Modelowanie sieciowe za pomocą sieci typu GAN. *Prace Naukowe Instytutu Organizacji i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej*, 12. Wrocław.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury (2005) z dnia 21 czerwca 2005 r. w sprawie obsługi naziemnej w portach lotniczych (Dz.U. z dnia 13 lipca 2005 r.).

IBS PAN *Konf.*

46003

Bibl. podręczna

**Olgierd Hryniewicz, Andrzej Straszak, Jan Studziński
red.**

**BADANIA OPERACYJNE I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE, PRZESTRZEŃ,
OPTYMALIZACJA**

Książka składa się z artykułów przedstawiających wyniki prac z dziedziny badań operacyjnych i systemowych, poświęconych środowisku naturalnemu i zarządzaniu nim, zwłaszcza w zakresie ochrony atmosfery, globalnego ocieplenia i walki z nim, jakości i zaopatrzenia w wodę. Tematyka ta jest rozszerzona o aspekty przestrzenne, regionalne i samorządowe, a także planowanie i funkcjonowanie infrastruktury. Tom zamykają prace metodyczne, dostarczające technik, będących podstawą prezentowanych zastosowań.

ISBN 83-894-7519-7

EAN 9788389475190

Instytut Badań Systemowych PAN

tel. (4822) 3810241 / 3810273 e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl