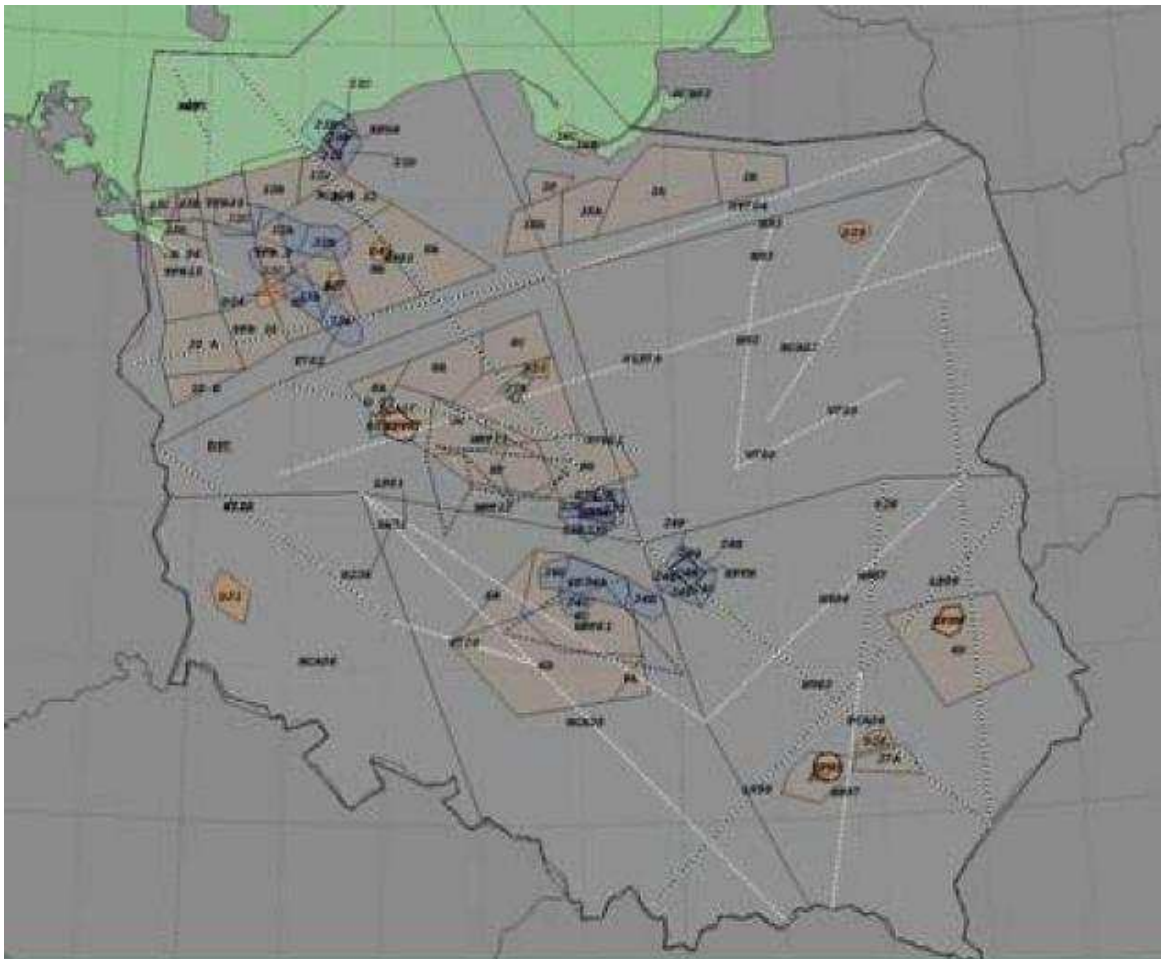


Paweł Gołda¹, Jerzy Manerowski²
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

Wybrane aspekty modelowania ruchu statków powietrznych na płycie lotniska

1. WPROWADZENIE

Przestrzeń powietrzna świata podzielona jest na Rejony Informacji Powietrznej (Flight Information Region). Obejmują one geograficznie całe państwa lub ich części. W granicach geograficznych jednego państwa może zostać ustanowionych kilka rejonów informacji. W polskiej przestrzeni ustanowiono jeden rejon informacji powietrznej, który w międzynarodowym kodzie ICAO ma znak EPWW, który został przedstawiony na rys. 2.1.



Rys. 1 Schemat przestrzeni powietrznej FIR EPWW.

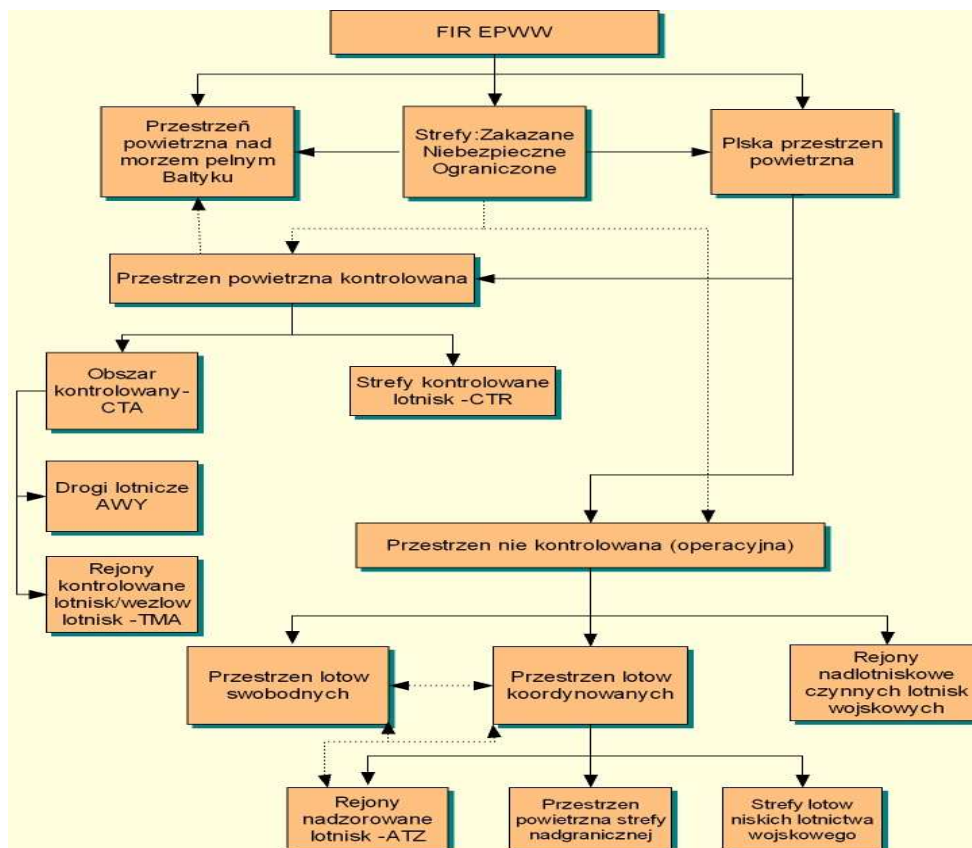
Polski Rejon Informacji Powietrznej Warszawa (EPWW) obejmuje przestrzeń nad obszarem lądowym wodami terytorialnymi wewnętrznymi i morzem terytorialnym oraz przestrzeń nad wodami morza Bałtyckiego, w której na podstawie umów międzynarodowych działają polskie służby ruchu lotniczego (ATS). Wszystkie podziały oparte są na Konwencjach o międzynarodowym lotnictwie cywilnym oraz krajowych i międzynarodowych uwarunkowaniach prawnych.

¹ pawel.golda81@gmail.com

² jma@it.pw.edu.pl

2. STRUKTURA POLSKIEJ PRZESTRZENI POWIETRZNEJ

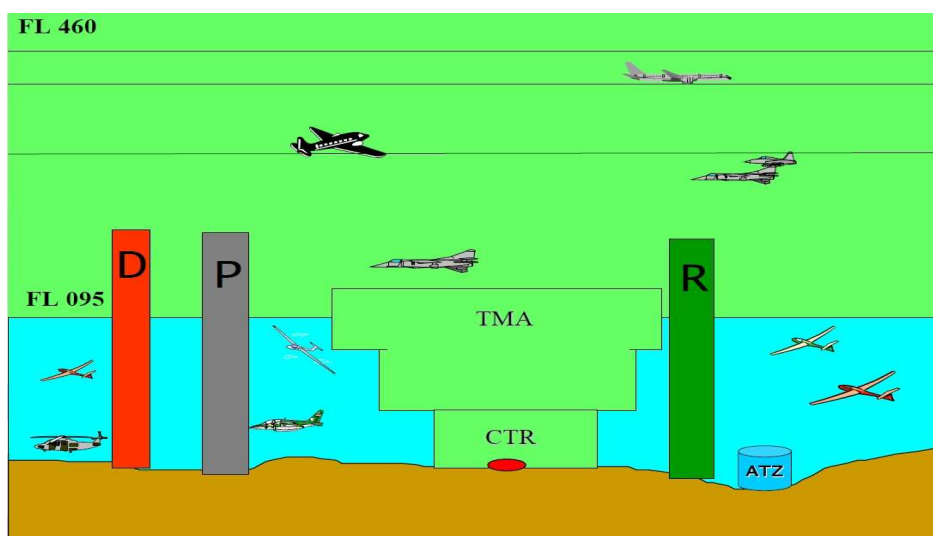
Przestrzeń powietrzna obejmuje przestrzeń kontrolowaną i niekontrolowaną. Przestrzenią kontrolowaną nazywamy przestrzeń w której zapewniona jest służba kontroli ruchu lotniczego oraz służba alarmowa i informacji powietrznej. Podział polskiej przestrzeni powietrznej obrazuje rys. 2.



Rys. 2. Podział polskiej przestrzeni powietrznej

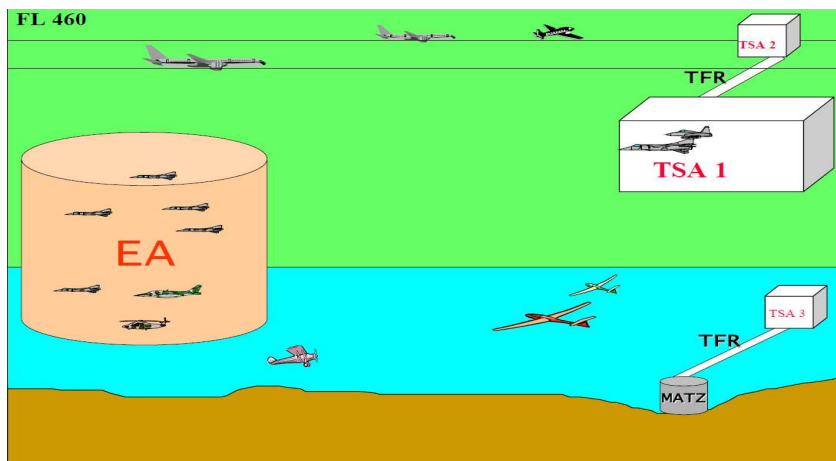
Źródło: Malarski M., *Inżynieria ruchu lotniczego*. OWPW, Warszawa 2006.

W strukturze przestrzeni kontrolowanej można wyróżnić następujące strefy (rys. 3 i 4.): zakazana P, ograniczona R, niebezpieczna D, czasowo wydzielona TSA, czasowo zarezerwowana TRA, korytarze dolotowe do stref czasowo wydzielonych TFR, rejon ćwiczeń EA.



Rys 3. Zobrazowanie struktury przestrzeni powietrznej.

Źródło: www.airportnet.org.

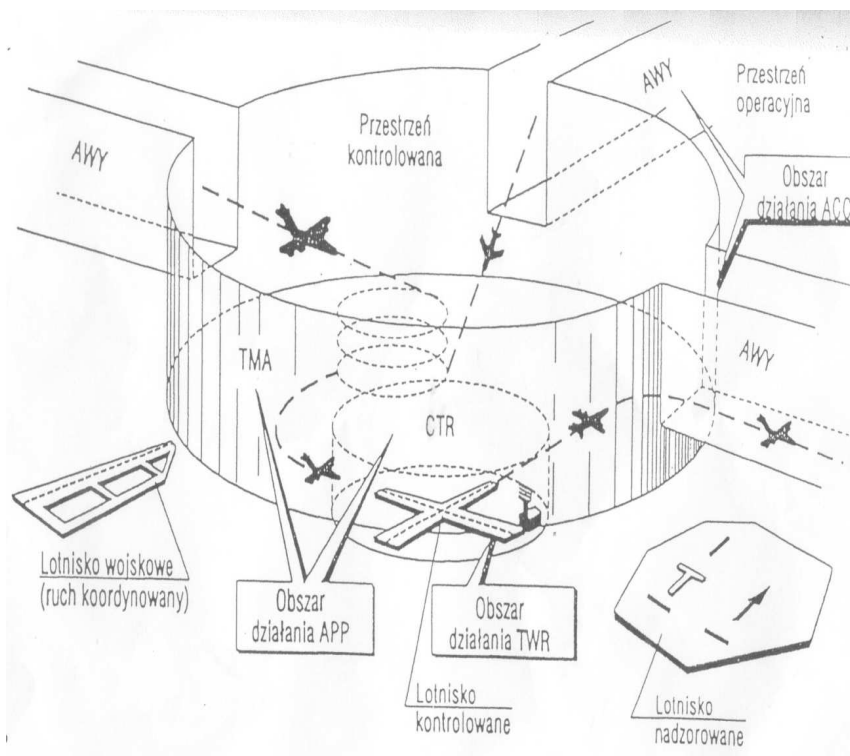


Rys 4. Zobrazowanie struktury przestrzeni powietrznej.

Źródło: www.airportnet.org.

W przestrzeni kontrolowanej wyróżniono (rys. 5):

- **CTA** - obszar kontrolowany - to przestrzeń powietrzna kontrolowana rozciągająca się w górę od określonej granicy nad ziemią. CTA obejmuje drogi lotnicze, rejony kontrolowane i węzły lotnisk.
- **AWY** - drogi lotnicze - to obszary kontrolowane lub jego część ustanowione w postaci korytarzy.
- **TMA** - rejon kontrolowany lotniska lub węzła lotnisk obejmuje część obszaru kontrolowanego ustanowionego zwykle na zbiegu dróg lotniczych w pobliżu lotniska. Granice poziome TMA wyznacza się tak, aby obejmowały przestrzeń wystarczającą dla pomieszczenia torów lotów, którym zamierza się zapewnić odpowiednie służby kontroli, przy uwzględnieniu dostępnych pomocy nawigacyjnych. Granica dolna nie powinna przebiegać poniżej 200m AGL, natomiast górna nie wyżej 14000m (FL460). TMA dla Lotniska Warszawa-Okęcie (EPWA) obejmuje wysokość od 560m. AMSL do poziomu FL400.
- **CTR** - strefy kontrolowane lotnisk obejmujące przestrzeń kontrolowaną poza obszarem kontrolowanym, rozciągają, się od ziemi lub wody do określonej górnej granicy.



Rys. 5. Przestrzeń powietrzna nad lotniskiem.

Źródło: www.atac.com.

Natomiast przestrzeń niekontrolowana obejmuje:

- Przestrzeń lotów swobodnych - w której statki powietrzne cywilne mogą wykonywać loty bez uprzedniej koordynacji. Wymagane jest złożenie planu lotu do wejściowego organu ATS.
- Przestrzeń lotów koordynowanych - loty podlegają koordynacji i uzgodnień z ATS. Wymagana jest dwukierunkowa łączność radiowa.

3. KONTROLA I ZASADY RUCHU NAZIEMNEGO

Podstawą kontroli ruchu lotniskowego jest zasada pierwszeństwa. Zakłada się, że statek powietrzny lądujący lub będący w końcowej fazie podejścia ma pierwszeństwo przed statkiem odlatującym. Przepisy zakładają, że statki powietrzne odlatujące powinny otrzymywać pozwolenia na podstawie gotowości do startu, za wyjątkiem odstępstwa kiedy zmieniona kolejność umożliwi większą liczbę operacji z najmniejszym średnim opóźnieniem.

Realizacja opisanych funkcji podstawowych dzieli strukturę, portu lotniczego na trzy podstawowe strefy:

- strefa I to pole manewrowe wraz z polem wzlotów,
- strefa II obejmuje płyty postojowe dla statków powietrznych oraz infrastrukturę służącą obsłudze statków powietrznych i pasażerów,
- strefa III obejmuje infrastrukturę niezbędną do działalności handlowej portu lotniczego.

Pole manewrowe jest to części pola naziemnego ruchu lotniczego przeznaczona do startów i lądowań statków powietrznych oraz ruchu naziemnego związanego ze startem i lądowaniem. Części pola manewrowego przeznaczonego do startów i lądowań nosi nazwę pola wzlotów. Natomiast droga startowa jest to prostokątna powierzchnia określona na pasie startowym przystosowana do startów i lądowań statków powietrznych. Wśród głównych elementów pola manewrowego wyróżnia się:

- drogi kołowania - określona trasa na lotnisku lądowym przeznaczona do kołowania statków powietrznych i zapewniająca połączenie między określonymi częściami lotniska,
- linie kołowania do stanowiska postojowego – to części płyty postojowej wyznaczone jako droga do kołowania i do dostępu do stanowisk postojowych statków powietrznych,
- droga kołowania po płycie postojowej – to część systemu dróg kołowania zlokalizowana na płycie postojowej zapewniająca możliwość kołowania po płycie,
- droga szybkiego zjazdu - to droga kołowania połączona pod ostrym kątem z drogą startową i przeznaczona do ułatwienia lądującym statkom powietrznym opuszczenia drogi startowej przy prędkościach większych niż na innych drogach zjazdu i przez to zmniejszająca do minimum czas zajmowania drogi startowej.

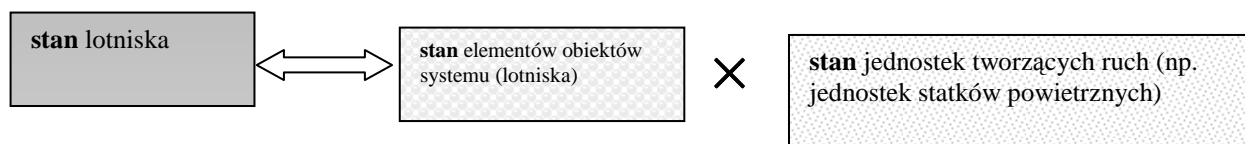
Płyty postojowe stanowią wydzieloną powierzchnię pola manewrowego lotniska, na której odbywa się obsługa pasażerów, towarów oraz podstawowa obsługa techniczno eksploatacyjna. Integralną częścią struktury lotniska są urządzenia nawigacyjne.

4. ODWZOROWANIE RUCHU STATKÓW POWIETRZNYCH JAKO SIECI FAZ PROCESU

Zakładamy, że lotnisko stanowi złożony system. Dla potrzeb prowadzonych badań, przyjmujemy, że elementy lotniska wraz z statkami powietrznymi stanowią strukturę modelu. Oczywistym jest, że czas przemieszczania statków powietrznych zależy od wyposażenia elementów struktury, co jest konsekwencją wyposażenia lotniska, jak również charakterystyk jego elementów infrastrukturalnych.

Uwzględniając powyższe przyjmujemy, że, stan systemu jakim jest lotnisko zależy od stanu elementów infrastruktury oraz stanu statków powietrznych przemieszczających się po płycie lotniska. Zakres odwzorowania infrastruktury lotniska oraz zakres odwzorowania ruchu lotniczego z wykorzystaniem charakterystyk jednostek tworzących ten ruch wynika przede wszystkim z celu i zakresu badań dla których model jest konstruowany.

W związku z tym można przyjąć założenie, że stan lotniska definiowany jest jako punkt przestrzeni fazowej określonej przez iloczyn kartezyjski stanów elementów obiektów systemu (elementów infrastruktury lotniskowej) oraz stanów jednostek tworzących ruch statków powietrznych w systemie, co symbolicznie przedstawić możemy, umownego zapisu jak na rys. 6.



Rys. 6. Ilustracja graficzna stanu lotniska traktowanego jako system.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4].

A zatem, do opisu stanu systemu może być wykorzystany wektor o składowych wyznaczających punkt w przestrzeni stanów tego systemu. Opisem dynamiki procesu operacji lotniskowych jest opis związków pomiędzy stanami systemu portu lotniczego oraz czasem jako zmienną niezależną. Charakterystyczne dla procesu transportowego są zależności między stanami elementów obiektów lotniskowych i stanami statków powietrznych tworzących potok ruchu. Związki te znacznie ograniczają liczbę dopuszczalnych stanów przestrzeni fazowej stanów systemu lotniskowego. Ograniczenia te pozwalają na przedstawienie ruchu wektora stanu w dwóch różnych ujęciach:

- jako ciągu zmian stanu elementów pasów na płycie lotniska,
- jako ciągu zmian stanu statków powietrznych tworzących potok ruchu w systemie.

W pierwszym ujęciu zmiany stanu statków powietrznych związane są jednoznacznie ze zmianami stanu elementów pasów na płycie lotniska, a w ujęciu drugim zmiany te wynikają ze zmian stanu statków powietrznych.

Ograniczeniom ruchu wektora stanu wygodnie jest nadać postać strukturalną wiążącą ze sobą stany dopuszczalne. Zmniejsza to znacznie obszar poszukiwania stanu następnego przy znanym stanie poprzednim (i ewentualnym sterowaniu). W takim układzie wygodnie jest odwzorować związki pomiędzy stanami systemu w postaci sieci wykorzystując do tego aparat teorii masowej obsługi.

Nawiązując do definicji procesu przemieszczania jako opisu związków pomiędzy stanami, a także dla potrzeb odwzorowania dynamiki przemieszczania statków powietrznych (dynamiki procesu) na płycie lotniska zakładamy, że:

- stan nazywać będziemy fazą procesu,
- zmianę stanu (zmianę fazy) nazywać będziemy zdarzeniem.

Fazę procesu przemieszczania charakteryzuje czas trwania, a zdarzenie charakteryzuje chwila wystąpienia zmiany stanu. Powstałą w ten sposób strukturę definiujemy jako strukturę sieci faz procesu przemieszczania. W takim układzie struktura sieci faz procesu przemieszczania jest odwzorowaniem struktury infrastruktury lotniskowej oraz odwzorowaniem procesu przemieszczania statków powietrznych na płycie lotniska.

Do charakterystyk węzłów sieci faz procesu należy zaliczyć między innymi:

- 1) liczbę miejsc postojowych wyrażoną w liczbie statków powietrznych;
- 2) liczbę kanałów obsługi wyrażoną w liczbie statków powietrznych które mogą być jednocześnie obsługiwane;
- 3) czasy obsługi dla poszczególnych kanałów obsługi lub wszystkich kanałów gdy są jednakowe, mogą się różnić dla różnych rodzajów (klas) statków powietrznych, czasy obsługi mogą być wartościami deterministycznymi (np. wartości średnie) lub zmiennymi losowymi o znanym rozkładzie - na ogół normalnym;
- 4) warunki rozpoczęcia i zakończenia obsługi statku powietrznego;
- 5) warunki wyboru następnej fazy (następnego węzła) w sieci faz procesu w sposób uzależniony od rodzaju (klasy) statku powietrznego - odwzorowanie kolejności faz w procesie obsługi ruchu lotniskowego;

- 6) regulamin wyboru statku powietrznego do obsługi i jednocześnie odwzorowanie sterowania ruchem statków powietrznych w sieci faz procesu.

5. PODSUMOWANIE

Główną miarą sprawności operacyjnej portu lotniczego jest jego przepustowość. Aby ją wyznaczyć niezbędna jest znajomość infrastruktury a więc: liczby i układ stanowisk postojowych, parametry terminali pasażerskich (schematy funkcjonalne): check-in, kontrola bezpieczeństwa, kontrola paszportowa, przewidywany wzrost wielkości ruchu oraz parametrów pola wzlotów (liczba, kierunki i wymiary dróg startowych, dróg szybkiego zjazdu), ukształtowanie pola manewrowego (liczba i układ dróg kołowania). Ponadto niezbędna jest znajomość poziomu (kategoria) oprzyrządowania nawigacyjnego oraz procedur lotniskowe Służb Kontroli Ruchu Lotniczego.

Wykorzystując sieć faz procesu można odwzorować ruch statków powietrznych na płycie lotniska. Do analizy przepustowości portu lotniczego można wykorzystać teorię masowej obsługi. Każda z operacji: operacje startu i lądowania, operacje naziemne i operacje płytowe można przedstawić w postaci sieci prostych systemów masowej obsługi.

Odpowiednie odwzorowanie pozwoli na badania symulacyjne w zakresie operacji startu i lądowania, operacji naziemnych i operacji płytowych. W konsekwencji będzie można wyznaczyć optymalną liczbę startów i lądowań statków powietrznych oraz badać dopasowanie infrastruktury lotniskowej do aktualnych i przyszłych zadań.

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest przedstawienie metody modelowania ruchu statków powietrznych na płycie lotniska. Dla opisu struktury sieci faz procesu, będących węzłami opisywanej struktury, wykorzystano teorię masowej obsługi.

Słowa kluczowe: statek powietrzny, płyta lotniska, pozycjonowanie.

Selected aspects of modeling of aircraft movement on the airport plate

Abstract

This paper presents a method of modeling movement of aircraft on the airport plate. To describe the phases of the network structure, which described the structure of nodes, queuing theory was used.

Key words: aircraft, the airport plate, positioning.

LITERATURA

- [1] Aerodata EU - OPS Regulatory Compliance Statement. AeroData Inc., Scottsdale, 2008.
- [2] Annex 14 - ICAO - Aerodromes. Volume I - Aerodrome design and operations. Edition 4, 2004.
- [3] Leszczyński J.: Modelowanie systemów i procesów transportowych. OWPW, Warszawa 1994.
- [4] Malarski M., Stelmach A.: Problemy zrównoważonego zwiększenia przepustowości portów lotniczych w Polsce. OWPW, z. 62, Warszawa 2007.
- [5] Mayer R.J., deWitte P.S., Evolving BPR from Art to Engineering. Department of Industrial Engineering. Texas A&M University, College Station (TX) 1997.
- [6] www.atac.com.