

Marek MALARSKI, Jacek SKORUPSKI

Politechnika Warszawska

MODELOWANIE PRZESTRZENI LOTNISKA W CELU WYZNACZANIA JEGO POJEMNOŚCI DLA RÓŻNYCH SYSTEMÓW ORGANIZACJI RUCHU LOTNICZEGO

Streszczenie: Ruch lotniczy jest realizowany w wydzielonych obszarach powietrznych podlegających sterowaniu przez służby kontroli. Największe zagęszczenie ruchu występuje w rejonie kontrolowanym lotniska. W celu zapewnienia bezpieczeństwa sterowanych samolotów konieczna jest znajomość tzw. pojemności lotniska, tzn. liczby samolotów, które przy określonych warunkach pogodowych, organizacji ruchu itp. mogą przebywać w rejonie kontrolowanym lotniska. W artykule zdefiniowano badaną wielkość. Następnie opracowano metodę wyznaczania pojemności proponując badanie modelowe obszaru jako sieciowego, wielofazowego systemu masowej obsługi, w którym strumienie wyjściowe z jednego systemu są wejściowymi dla następnego. Do weryfikacji otrzymanych wyników zaproponowano analityczne wyznaczenie charakterystyk stacjonarnych systemu lub zbudowanie szczegółowego modelu symulacyjnego.

TERMINAL AREA MODELLING FOR DETERMINING ITS CAPACITY IN VARIOUS SYSTEMS OF AIR TRAFFIC ORGANISATION

Summary: Air traffic is carried out in selected air zones that are controlled by Air Traffic Services. The biggest congestion is observed in the Terminal Area (TMA). To provide safety of controlled aircrafts one must know so called airport capacity, i.e. number of aeroplanes that can stay in Terminal Area in given meteorological conditions, traffic organisation, etc.

In the paper, airport capacity is defined. Then a method of calculating the capacity is proposed. In this method TMA is modelled as a network, multiphase queuing system. In this model, output streams from one subsystem are the input ones in the next subsystem.

MODELLIERUNG DES FLUGHAFENRAUMES FÜR DIE BEURTEILUNG SEINER KAPAZITÄT FÜR VERSCHIEDENE SYSTEME DER ORGANISATION DES FLUGVERKEHRS

Zusammenfassung: In dem Aufsatz wird sogenannte Flughafenkapazität definiert, das heisst: Zahl der Flugzeugen, die bei den bestimmten meteorologischen Bedingungen, Verkehrsorganisation usw. in dem Flughafenbereich unter Kontrolle sich befinden. Weiter wurde eine Methodik bearbeitet, die Kapazität berechnet, wo die Modelluntersuchung des Kontrollbereiches als Netz- und Mehrfasensystem des Massenabfertigung abgebildet wurde, wo die Ausgangsströme von einem System als Eingangsströme für das anderen dienen. Als Verifikation des erhaltenen Ergebnissen wurde analytische Berechnung des stationären Charakteristiken des Systems oder Herstellung genauen Simulationsmodels vorgeschlagen.

1. Wstęp

Ruch lotniczy jest realizowany w wydzielonych obszarach powietrznych podlegających sterowaniu przez służby kontroli. Służby te dbają o zapewnienie odpowiedniej separacji pomiędzy samolotami, tak aby zapewnić ich bezpieczeństwo. Uzyskiwanie wymaganej separacji jest szczególnie utrudnione w przypadku obszarów o dużym natężeniu ruchu lotniczego. Największe zagęszczenie ruchu lotniczego występuje w rejonie kontrolowanym lotniska. Rejon ten jest też najbardziej skomplikowany pod względem organizacyjnym, ruch statków powietrznych podlega w nim kontroli kilku różnych służb ruchu lotniczego. Są nimi służba kontroli zbliżania (APP), służba kontroli lotniska (TWR), służby odpowiedzialne za ruch na płycie postojowej i w rejonach obsługi technicznej.

Pod pojęciem lotniska w tym artykule rozumieć się będzie przestrzeń zawierającą: Rejon Kontrolowany Lotniska (Terminal Area - TMA), Strefę Kontrolowaną Lotniska, czyli wszystkie elementy naziemne składające się na lotnisko: drogi startowe, drogi kołowania, stanowiska postojowe, stanowiska obsługi technicznej, drogi pomocnicze. Każda z części składowych lotniska nazywana jest podsystemem.

Ze względu na wymogi zapewnienia bezpieczeństwa statkom powietrznym, służby kontroli ruchu lotniczego w rejonie lotniska stają przed koniecznością określenia liczby samolotów, które w danym momencie, przy określonych warunkach pogodowych itp. mogą znajdować się w rejonie kontrolowanym lotniska.

2. Problem wyznaczania pojemności lotniska

W chwili obecnej nie ma jeszcze na świecie obiektywnie przyjętych metod określania pojemności lotniska i TMA. W ramach Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (ICAO) prowadzone są w kilku ośrodkach światowych prace nad uzgodnieniem norm określania tych pojemności oraz prace nad metodami ich wyznaczania. Opracowanie metody wyznaczania pojemności byłoby znaczącym wkładem w rozwój metod sterowania ruchem lotniczym na świecie. Dałoby również wymierne korzyści przy przeprowadzanej obecnie modernizacji portów lotniczych w Polsce. Realizacja metod wyznaczania pojemności lotniska i przestrzeni TMA wymaga dokonania pełnej identyfikacji zjawisk zachodzących w ruchu lotniczym w tych obszarach.

W dotychczasowej literaturze można znaleźć kilka definicji pojemności lotniska, z których dwie mają znaczenie praktyczne [1]. Jedną z nich określa tzw. pojemność praktyczną.

Pojemność lotniska - jest to liczba operacji startu i lądowania w jednostce czasu odpowiadająca dopuszczalnemu poziomowi opóźnienia.

Inna definicja odpowiada tzw. pojemności maksymalnej.

Pojemność lotniska - jest to maksymalna liczba operacji startu i lądowania, jaką lotnisko jest w stanie obsłużyć w jednostce czasu przy stałym strumieniu zgłoszeń.

Istotną różnicą między tymi definicjami jest to, że jedna z nich uwzględnia opóźnienia, zaś druga nie. Jakkolwiek w obu tych definicjach mówi się o pojemności lotniska, jednak badaniu poddawana jest zazwyczaj pojemność pasów startowych. Znane są liczne modele analityczne i probabilistyczne wykorzystywane do określania godzinowej i rocznej pojemności pasów startowych. Czynniki, które uwzględniano przy analizie, były: liczba pasów startowych i ich konfiguracja, liczba i konfiguracja dróg odjazdowych (w ograniczonym zakresie), wielkość statków powietrznych korzystających z lotniska, warunki pogodowe (loty IFR lub VFR), czas zajętości pasa.

Podejście polegające na ograniczeniu badania pojemności lotniska do pojemności pasów startowych jest zrozumiałe, ponieważ intuicyjnie wiadomo, że pasy startowe są najbardziej newralgicznym obszarem lotniska. Wynika to z bardzo niewielkiej możliwości manewru. W każdym z pozostałych podsystemów możliwe jest "zatrzymanie" statku powietrznego. Polega ono np. na realizowaniu odpowiednich procedur oczekiwania (holding) w rejonie TMA, które umożliwia przeczekanie chwilowych spiętrzeń w ruchu lotniczym. Podobnie na drogach do kołowania możliwe jest oczekiwanie na zwolnienie pasa startowego. Oczywiście, oczekiwanie jeszcze łatwiej można zrealizować na miejscach postojowych, gdzie sytuacja z natury jest bardzo statyczna. Przestrznią zdecydowanie odmienną jest obszar bezpośredniej bliskości pasów startowych, szczególnie przy lądowaniu. Istnieją, oczywiście, odpowiednie procedury postępowania po nieudanym podejściu do lądowania, ale ich stosowanie jest bardzo rzadkie ze względu na wiążące się z nimi niebezpieczeństwo. Dlatego też powody, dla których podejmowano z reguły wyłącznie badania tego wycinka przestrzeni wokół lotniska, wydają się zrozumiałe.

Należy jednak takie podejście poddać krytyce, gdyż w świetle podanych definicji pojemności każda z podprzestrzeni rejonu lotniska może być "wąskim gardłem" decydującym o zmniejszeniu pojemności. Definicja pojemności przyjmuje za kryterium oceny średni czas opóźnień. Opóźnienia takie występują w każdym z podsystemów, co więcej, można przypuszczać, że są one największe w przestrzeniach otaczających podsystem pasów startowych. Może to wynikać z tego, że w związku z dużym ryzykiem związanym z manewrem startu i lądowania, ustalane są odpowiednio duże minima separacyjne pomiędzy statkami powietrznymi. Zapewnia to maksymalnie płynny przelot przez najmniejbezpieczną strefę. Należy jednak zauważyć, że formowanie statków powietrznych w odpowiedni strumień odbywa się w rejonach poprzedzających newralgiczny podsystem. Jest więc uzasadnione, a nawet wskazane badanie pozostałych podsystemów.

Podejście polegające na podziale obszaru wokół lotniska na mniejsze obszary (wyodrębnione w oparciu o kryteria funkcjonalne) i badanie poszczególnych części było

również realizowane, np. w pracy [2]. Każdy z tych obszarów został jednak potraktowany całkowicie niezależnie od pozostałych. Ostatecznym wynikiem prowadzonych rozważań jest obliczenie pojemności poszczególnych podsystemów. Brakuje jednak definicji tych pojemności.

Poważną wadą otrzymanych wyników jest określenie ich wielkości w różnych (nieporównywalnych) jednostkach, np. wg autora [2] pojemność drogi startowej wynosi 20 statków powietrznych/godzinę/pas, zaś budynku odpraw 40 pasażerów/godzinę/stanowisko odpraw. Uniemożliwia to określenie "wąskich gardeł" systemu, jak również badanie wrażliwości poszczególnych podsystemów na zakłócenia w innych podsystemach. Ponadto przyjęto założenia idealności warunków pogodowych, realizowanych strategii sterowania itp. Wybór typu modelu masowej obsługi opisującego zjawiska w danym obszarze budzi również dużo zastrzeżeń, np. najbardziej skomplikowana ze wszystkich przestrzeni kontrolowanych - przestrzeń TMA jest modelowana jako system M/M/1/n, co należy uznać za bardzo daleko idące uproszczenie.

Praca ta przedstawia jednak bardzo szczegółowo sposób (metodologię) pozyskiwania danych statystycznych dotyczących ruchu lotniczego w rejonie lotniska.

Na świecie prowadzono również badania mające na celu znalezienie takiej wartości pojemności lotniska, która byłaby do przyjęcia ze względu na wymagania ochrony środowiska [3]. Przedstawiono w niej model matematyczny wiążący działalność linii lotniczych z dopuszczalnymi normami zanieczyszczenia. Zastosowano dwa ograniczenia: hałas i zanieczyszczenie powietrza, każde z nich określone jednym parametrem. Jako funkcję celu wybrano maksymalizację zysków towarzystw lotniczych. Takie sformułowanie problemu prowadzi do zagadnienia programowania nieliniowego. W celu jego rozwiązania zastosowano metodę dekompozycji Bendersa.

Model przedstawiony w pracy [3] zakłada przeprowadzenie obliczeń z dokładnością do 1 godziny. Autor sugeruje, że otrzymana maksymalna liczba startów i lądowań wpływa na pojemność lotniska w tym samym stopniu, co fizyczne charakterystyki portu.

W artykule [4] poddano krytyce dotychczasowe podejście do zagadnienia pojemności lotniska jako zależności (funkcji?) opóźnień w ruchu od jego natężenia. Zwrócono uwagę na konieczność całościowego podejścia do zagadnienia (wyznaczania pojemności portu lotniczego, a nie np. pasa startowego). Autorzy zauważają, że pojemność praktyczna łączy opóźnienia z pojemnością, a zatem zakłada, że na pojemność kanału obsługi wpływa rodzaj i czas przybycia poszczególnych obiektów żądających obsługi. Przy tym założeniu możliwa jest zmiana pojemności pasa startowego bez zmiany fizycznych lub operacyjnych charakterystyk pasa, a jedynie przez zmianę czasów przybycia poszczególnych samolotów, np. tak, aby zmniejszyć średnią wielkość opóźnień. Z tego punktu widzenia istotnie podana definicja pojemności budzi zastrzeżenia. W artykule przedstawiono obliczenia dotyczące jednego pasa

startowego, jednak autorzy twierdzą, że możliwe jest zastosowanie tego modelu do badania pojemności kilku pasów startowych w różnych konfiguracjach.

W [5] zaprezentowano model do wyznaczania "rzeczywistej" pojemności pasa startowego oparty na modelu Harrisa. Model opiera się na określeniu zależności czasowo - przestrzennych zachodzących pomiędzy dwoma statkami powietrznymi realizującymi następujące po sobie operacje startu lub lądowania. Rozpatrzono dwa przypadki, w zależności od prędkości tych statków powietrznych.

W pracy [6] podana jest metoda określania wielkości opóźnień podczas pracy portu lotniczego przy różnych sposobach wykorzystania poszczególnych pasów startowych i przy różnych warunkach pogodowych (IFR i VFR). Metoda ta jest stosowana w Stanach Zjednoczonych. Ma jednak kilka poważnych wad, które poddają w wątpliwość jej użyteczność:

- Procedury kontroli ruchu lotniczego są różne w różnych krajach, zatem taka sama kombinacja natężenia ruchu, składu strumienia statków powietrznych, warunków pogodowych może dać w rezultacie różne wielkości, np. natężenia ruchu odpowiadającego 4-minutowemu opóźnieniu.
- Nie zostały podane informacje nt. struktury zapotrzebowania strumienia statków powietrznych na obsługę w godzinach szczytowych.
- Metoda uwzględnienia różnych sposobów wykorzystania pasa startowego zakłada, że współczynnik opóźnienia na jedną operację jest taki sam w przypadku mieszanego wykorzystania, jak w przypadku wykorzystania pasa wyłącznie do startów lub wyłącznie do lądowań.

W pracy [7] przedstawiono model symulacyjny do wyznaczania wielkości rocznych opóźnień w porcie lotniczym. W pierwszej części omówiono trudności wynikające ze stosowania metody wyznaczania opóźnień opisanej w pracy [6], która jest z powodzeniem użytkowana w USA. W wyniku stosowania modelu można otrzymać liczne charakterystyki badanego lotniska. Podstawową jest wielkość opóźnienia powstającego w ciągu roku. Inne z nich, to:

- średnie opóźnienie w poszczególnych dniach,
- stopień wykorzystania pasów startowych,
- średnie opóźnienie z podziałem na starty, lądowania i typy statków powietrznych.

3. Modelowanie przestrzeni lotniska

Do modelowania przestrzeni lotniska proponuje się zastosowanie symulacji komputerowej. Istnieje metoda z powodzeniem stosowana w USA przez Federalną Agencję Lotnictwa Cywilnego (FAA) oparta na modelach symulacyjnych. Dla precyzyjnego wyznaczenia poszukiwanej wartości pojemności lotniska konieczne jest jednak zbudowanie

modelu dokładnie odzwierciedlającego wszystkie zależności pomiędzy statkami powietrznymi i elementami wyposażenia naziemnego w badanej przestrzeni. Obecna technika komputerowa jest w stanie zrealizować zadanie wyznaczania pojemności lotniska w oparciu o metodę symulacyjną. Jednak jej wykorzystanie praktyczne jest znikome ze względu na wysoki koszt sprzętu komputerowego. Zjawisko to występuje także w USA. Stopień skomplikowania zadań obliczeniowych występujących przy tego rodzaju symulacjach wymusza stosowanie sprzętu o najwyższych mocach obliczeniowych. Zastosowanie tak kosztownych urządzeń na większości lotnisk jest niemożliwe. Ponadto czas oczekiwania na wyniki tak przeprowadzanych obliczeń wynosi kilka godzin, co stawia ich użyteczność pod znakiem zapytania, ze względu na możliwość szybkich zmian czynników wpływających na pojemność lotniska.

W związku z tym konieczne staje się uproszczenie modelu, tak aby w sposób zadowalający odzwierciedlał zachodzące zjawiska, jednocześnie umożliwiając obliczanie pojemności w czasie rzeczywistym.

Celem tworzenia modelu lotniska jest określenie jego pojemności. Analizując definicje pojemności można zauważyć, że kładą one nacisk na zależność liczby statków powietrznych, które mogą korzystać z przestrzeni powietrznej, od struktury geometrycznej obszaru oraz zależności czasowo-przestrzennych, zwanych separacjami. Pojemność zależy od odległości między punktami wlotowymi i wylotowymi obszaru oraz od czasów między kolejnymi zgłoszeniami statków powietrznych na wlotach i czasów przelotu przez badany obszar przestrzeni powietrznej. Wydaje się, że nie jest istotna ani trajektoria, po jakiej porusza się statek powietrzny w modelowanej przestrzeni, ani obciążenie pracą kontrolera ruchu lotniczego. Jest to zrozumiałe, ponieważ w pierwszym przypadku wszelkie zmiany poziomu, czy zmiany standardowej trasy przelotu (podejścia do lądowania) można przedstawić statystycznie w postaci czasu przelotu między punktem wlotowym a wylotowym. Natomiast w drugim przypadku można przestrzeń kontrolowaną podzielić na kilka podprzestrzeni, kontrolowanych przez oddzielnych kontrolerów, co zmniejszy obciążenie pracą pojedynczego kontrolera i nie będzie stanowiło czynnika ograniczającego. W świetle powyższych rozważań łatwo zauważyć, że najodpowiedniejszym typem modelu jest model masowej obsługi o kilku strumieniach wejściowych i kilku wyjściach. Na każdym z wejść możemy mieć do czynienia z innym rozkładem prawdopodobieństwa następstwa zgłoszeń. Z każdego z wejść statek powietrzny może udać się do każdego z wyjść.

Dużą trudność interpretacyjną przy takim podejściu do zagadnienia stanowi zjawisko oczekiwania na obsługę. Oczekiwanie to w tradycyjnych systemach typu masowej obsługi odbywa się w kolejce (o odpowiednim regulaminie) po stwierdzeniu zajętości kanału obsługi. Stwierdzenie, czy kanał obsługi jest wolny, czy nie następuje natychmiast po przybyciu do systemu; obiekt jest natychmiast obsługiwany lub zajmuje miejsce w kolejce. W przypadku obszaru kontrolowanego lotniska sytuacja wygląda nieco odmiennie. Zarówno badanie stanu

zajętości kanału obsługi, jak i oczekiwanie na obsługę musi się odbywać jeszcze przed zgłoszeniem do systemu. Ten pozorny paradoks można wytłumaczyć następująco:

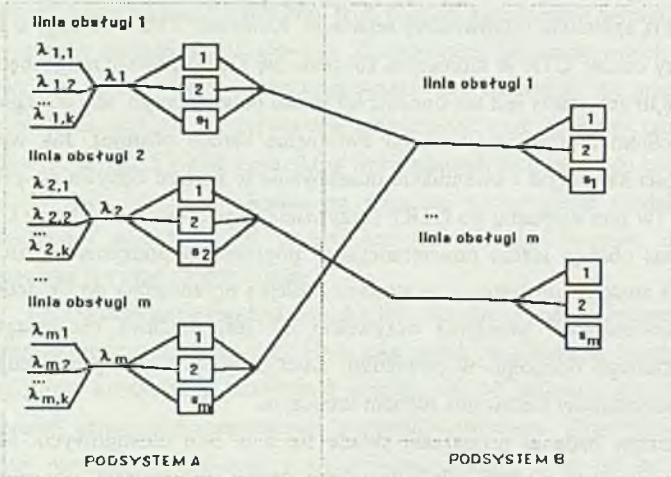
Statek powietrzny lądujący zbliżając się do pasa startowego znajduje się w stanie obsługiwania przez kontrolera TMA. Następnym kanałem obsługi dla tego obiektu będzie obszar CTR. Jednak kontroler CTR przyjmie statek powietrzny do obsługi tylko wówczas, jeśli będzie to możliwe, tzn. o ile zostaną spełnione odpowiednie separacje. Kontroler TMA wiedząc o tym zawczasu przewiduje, czy obszar CTR w momencie zbliżenia się statku powietrznego będzie mógł go przyjąć. Jeśli nie, to zmuszony jest tak opóźnić lot statku powietrznego, aby ten zgłosił się do CTR w odpowiednim momencie (w chwili zwolnienia kanału obsługi). Jak widać, sprawdzenie stanu zajętości kanału, jak i ewentualne oczekiwanie w kolejce odbywa się przed zgłoszeniem do systemu (w tym wypadku do CTR). Oczywiście, oczekiwanie na wlot w CTR wpływa znacząco na czas obsługi statku powietrznego w poprzednim podsystemie, tzn. w TMA. Nasuwa się pewna analogia do systemu ze stratami (kolejka ograniczona do 0). Jednak jest to daleko idące uproszczenie, ponieważ oczywiście, nie jest możliwa rezygnacja z lądowania statku powietrznego będącego w powietrzu. Dlatego proponuje się następującą jednolitą interpretację podsystemów sterowania ruchem lotniczym.

Każdy z podsystemów badanej przestrzeni składa się z m linii obsługowych. Linia obsługowa odpowiada trasie od punktu wlotowego przestrzeni powietrznej do punktu wylotowego (np. pasowi startowemu, odcinkowi drogi lotniczej w TMA itp.). Do wejścia linii obsługowej i ($i = 1, 2, \dots, m$) zgłaszają się statki powietrzne z intensywnością λ_i . Zakłada się, że odstęp pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami nie może być mniejszy niż czas t_{\min} , który odpowiada minimalnej separacji obowiązującej w danej przestrzeni powietrznej. Czas obsługi przez służby kontroli ruchu zależy od numeru linii i oraz od kategorii k zgłaszającego się obiektu, zatem intensywność obsługi wynosi $\mu_{i,k}$. Kategoria obiektu odpowiada kategorii wagowej statku powietrznego (wielkości statku powietrznego). W zależności od tej kategorii różne są czasy przelotu (przejazdu) przez odpowiednie obszary. Oczywiście, kategorie wagowe statków powietrznych należy uwzględnić także w strumieniu wejściowym. Zatem strumień wejściowy o intensywności λ_i jest sumą strumieni składowych $\lambda_{i,1}, \dots, \lambda_{i,k}$.

Na każdej z linii znajduje się S_i stanowisk obsługi, gdzie S_i jest maksymalną liczbą statków powietrznych, które mogą jednocześnie znajdować się pod kontrolą w linii i .

Strumienie wyjściowe z każdej z m linii podsystemu stanowią strumień wejściowy do następnego podsystemu. Oczekiwanie do następnego podsystemu odbywa się w podsystemie poprzedzającym, tzn. w czasie obsługi $t_{i,k}^0$ uwzględnia się również czas oczekiwania w kolejce do następnego podsystemu (mamy bowiem do czynienia z szeregowym przechodzeniem statku powietrznego między podsystemami). Wydaje się, że statystyczne uwzględnienie czasu oczekiwania w kolejce w czasie obsługi nie ma wpływu na wynik analizy teoretycznej, jak i

wynik modelowania symulacyjnego. Jeżeli wszystkie kanały obsługi w i -tej linii obsługi w podsystemie B są zajęte, wówczas obiekt blokuje dotychczas zajmowane stanowisko w podsystemie A i nie opuszcza go, aż do chwili zwolnienia jednego ze stanowisk w podsystemie następnym.



Rys. 1. System sterowania ruchem lotniczym jako sieciowy system masowej obsługi
Fig. 1. Air traffic control system as a network queuing system

4. Komputerowy system wyznaczania pojemności w czasie rzeczywistym

Opisany w poprzednim punkcie sposób modelowania podsystemów rejonu lotniska umożliwia realizację komputerowego systemu do wyznaczania aktualnej pojemności lotniska, który uwzględniałby zmiany poszczególnych parametrów mających wpływ na pojemność. System taki mógłby działać w czasie rzeczywistym i byłby pomocny dla służb zajmujących się planowaniem przepływu strumieni ruchu lotniczego. Oczywiście, aby system taki miał jakiegokolwiek znaczenie praktyczne, konieczne jest zweryfikowanie proponowanej metody modelowania przestrzeni lotniska i opartej na niej metody wyznaczania pojemności. Weryfikacja taka może się okazać zadaniem bardzo pracochłonnym i uciążliwym. Jednak ze względu na znaczenie znajomości bieżącej pojemności lotniska dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego podjęcie tego zadania wydaje się nieuniknione.

Komputerowy system wyznaczania pojemności powinien działać dwutorowo. Po pierwsze, powinien na bieżąco określać aktualną pojemność lotniska. Po drugie, powinien, na podstawie

wprowadzanych przez kontrolerów oszacowań dotyczących przyszłych stanów wielkości mających wpływ na pojemność, podawać przewidywaną pojemność w dowolnym zadanym horyzoncie czasowym.

5. Podsumowanie

Niniejszy artykuł prezentuje wstępne propozycje kierunków prac mających na celu opracowanie i wdrożenie metody wyznaczania pojemności lotniska. Jako jeden z celów stawiane jest wykonanie komputerowego systemu do wyznaczania pojemności w czasie rzeczywistym. W tym celu konieczne było opracowanie sposobu modelowania przestrzeni lotniska, tak aby umożliwić sprawne obliczanie pojemności, jednocześnie nie tracąc istotnych dla tego zadania zależności pomiędzy badanymi obiektami i systemami.

Biorąc pod uwagę doświadczenia z innych prac dotyczących omawianego zagadnienia proponuje się badanie całego systemu ruchu lotniczego w rejonie lotniska, z uwzględnieniem wzajemnych powiązań pomiędzy podsystemami. Należy zastosować jednoczesne wyznaczanie pojemności wszystkich podsystemów, a także całego rejonu kontrolowanego lotniska.

Proponuje się rozpatrzenie badanego obszaru jako sieciowego, wielofazowego systemu masowej obsługi, w którym strumienie wyjściowe z jednego podsystemu są strumieniami wejściowymi dla następnego podsystemu. Należałoby podjąć próbę analitycznego wyznaczenia charakterystyk stacjonarnych badanego systemu. Bardziej szczegółowe informacje można byłoby uzyskać dzięki modelowaniu symulacyjnemu. O ile w przypadku modelu analitycznego mamy do czynienia z typem skomplikowanego modelu systemu masowej obsługi, o tyle w przypadku modelu symulacyjnego wstępne eksperymenty numeryczne wskazują na dużą prostotę modelu i łatwość uzyskiwania wyników.

Możliwe byłoby stworzenie szczegółowego i precyzyjnego modelu symulacyjnego badanej przestrzeni i sprawdzenie, na ile podejście uproszczone jest możliwe do zaakceptowania (na ile wyniki z modeli uproszczonych są zgodne z wynikami modelu szczegółowego).

LITERATURA

- [1] Horonjeff R., *Planning and Design of Airports*, 1975.
- [2] Rallis T., *An Operational Research Study of the Copenhagen Airport Kastrup*, Acta Politechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction Series No. 18 (1963).
- [3] Ferrar A., *The Allocation of Airport Capacity with Emphasis on Environmental Quality*, Transportation Res. vol.8, 1974.

- [4] Hockaday S.L., Kanafani A.K., Developments in Airport Capacity Analysis, Transportation Res. vol.8, 1974.
- [5] Harris R.M., Models for Runway Capacity Analysis, The Mitre Corporation Technical Report MTR-4102. Washington D.C., 1969.
- [6] Airport Capacity Handbook, Report No.1167-H-1. By Airbone Instrument Laboratory, Cutler-Hammer, Deer Park, NY 11719.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Jan Kałuski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994r.

Abstract

Air traffic is carried out in selected air zones that are controlled by Air Traffic Services. The biggest congestion is observed in the Terminal Area (TMA). To provide safety for controlled aircraft one must know so called airport capacity, i.e. number of aeroplanes that can stay in Terminal Area in given meteorological conditions, traffic organisation, etc.

In the paper, airport capacity is defined. Then a method of calculating capacity is proposed. In this method TMA is modelled as a network, multiphase queuing system. In this model, output streams in one subsystem are the input ones in the next subsystem.

Two ways of verification of the method proposed. One of them is performing of analytical calculation of system characteristics. The other one is a construction of very precise simulation model.

In the paper, a whole concept of Terminal Area modelling is presented. Uniform treatment of each subsystem in TMA is proposed. It allows to construct a model, and then an effective tool for calculating the airport capacity.