

Mieczysław KOT

## BADANIA SYSTEMOWE I TEORIA MASOWEJ OBSŁUGI NA POTRZEBY ANALIZ PRZEPUSTOWOŚCI PORTÓW LOTNICZYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono elementy teorii systemów i teorii masowej obsługi, które mogą mieć bezpośrednie zastosowanie do badań przepustowości portów lotniczych. Optymalizacja decyzji inwestycyjnej i organizacyjnej dotyczącej konkretnego portu lotniczego wymaga wykorzystania tych teorii, określenia odpowiednich modeli matematycznych oraz przeprowadzenia na dużą skalę badań eksperymentalnych.

Zidentyfikowano elementy systemu transportu lotniczego i oddziałujące na niego systemy zewnętrzne. Przeanalizowano wpływ procesów zachodzących w elementach tych systemów na przepustowość portu lotniczego, w szczególności jego części lądowej. Zwrócono uwagę na możliwości zastosowania teorii masowej obsługi do analizy tych procesów.

## SYSTEM RESEARCH AND QUEUING THEORY FOR THE NEEDS OF AIRPORTS CAPACITY ANALYSES

**Summary.** Elements of the theory of the systems and queuing theory, which can have direct application for research of airport capacity, are presented in the paper.

### 1. Wprowadzenie

Rozwój społeczeństw niesie za sobą konieczność szybkiego przemieszczania ludzi i towarów w skali krajowej, kontynentalnej i międzykontynentalnej. Problem ten rozwiązuje dynamicznie rozwijający się transport powietrzny. Modernizowane są środki transportu zdolne przewozić na znaczną odległość dużą liczbę pasażerów i towarów. Doskonalone jest zaplecze i obsługa tego transportu pod kątem niezawodności i komfortu podróżowania.

Zapewnienie rozwoju transportu lotniczego wymaga szczegółowych analiz wszystkich ogniw procesu obsługi ruchu pasażerskiego i towarowego. Istotne znaczenie dla optymalizacji kosztów inwestycyjnych i ruchowych transportu oraz możliwości rozwojowych portu lotniczego ma określenie jego przepustowości.

Do analizy przepustowości portów lotniczych należy podejść systemowo, korzystając z metod teorii systemów. Systemy transportu lotniczego są częścią składową metasytemów

transportu i ściśle współzależne od metasystemów zewnętrznych, a w szczególności systemów społeczności lokalnych, przemysłu, ekosystemu, jak również położenia geograficznego.

Spośród metod matematycznych możliwych do zastosowania w badaniach przepustowości portów lotniczych najbardziej odpowiednia jest teoria masowej obsługi. Metody badawcze i wzory tej teorii, uprzednio dostosowane i zweryfikowane, mogą służyć optymalizacji poszczególnych elementów portu lotniczego i być pomocne w podejmowaniu decyzji z zakresu inwestowania i zarządzania.

Na potrzeby niniejszego artykułu część lądowa portu lotniczego zdefiniowana została jako część zawierająca wszystkie elementy i procesy, którym poddawany jest pasażer lotniczy, od momentu wyruszenia w podróż z miejsca stałego zamieszkania do momentu wejścia na pokład statku powietrznego, oraz od momentu opuszczenia statku powietrznego do osiągnięcia celu podróży. Natomiast część powietrzna zdefiniowana została jako pozostała część całego procesu transportu lotniczego (przygotowanie do manewru startu, start, lot, lądowanie i kołowanie na miejsce postoju do momentu opuszczenia statku powietrznego przez pasażerów).

Do części lądowej portu lotniczego należą elementy: płyty przeddworcowe z bramami wylądowczo-załadowczymi, budynek dworca, obsługa biletowo-bagażowa, sieć dróg dojazdowych, system parkingowy itd., natomiast do części powietrznej: pasy startowe, drogi kołowania, system kontroli lotów itd.

Taki podział ma na celu jednoznaczne oddzielenie od siebie w całym procesie transportu lotniczego części procesu podróży zależnej, w pełni bądź częściowo, od pasażera lotniczego i części zupełnie od niego niezależnej.

Szczególnej uwagi wymaga przepustowość części lądowej portu. Przeciążenie dworca lotniczego, dróg dojazdowych i powierzchni parkingowych coraz bardziej zagraża zdolności do obsłużenia przez porty lotnicze dodatkowej liczby pasażerów i przesyłek bagażowych. Pomiar przepustowości elementów jego części lądowej stają się równie ważne jak pomiary przepustowości części powietrznej. Istotnym problemem przepustowości jest wpływ systemów zewnętrznych.

Wyniki badań systemowych oraz analiz przepustowości powinny być dla portów lotniczych podstawą strategicznego zarządzania i długookresowego planowania.

## 2. Analiza systemowa

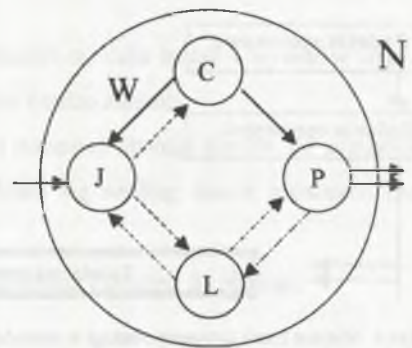
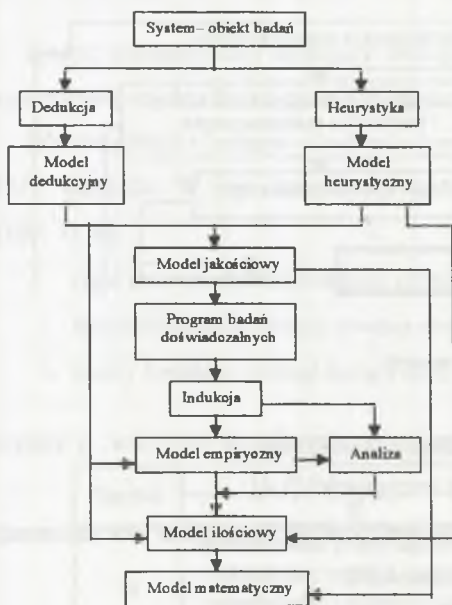
Szybko rozwijający się przemysł i transport wymuszają stosowanie zasad teorii systemów, które przyjmują, że przedmiot badań jest zbiorem wzajemnie powiązanych elementów, mię-

dzy którymi występują wzajemne oddziaływania, mające zdecydowany wpływ na własności całego obiektu.

Metodyka badań systemowych [6,7] stanowi podstawę modelowania matematycznego obiektów badań, którymi mogą być pewne układy, rozumiane jako zbiory przedmiotów, lub dowolne procesy (zbiory zdarzeń). Można równocześnie badać układy i procesy z nim związane.

Ogólnie teoria systemów wykorzystuje opis matematyczny obiektu badań jako systemu i wymaga jego pełnej identyfikacji. W ten sposób spełnione są zasady współczesnych badań naukowych: integracja, interdyscyplinarność i modelowanie matematyczne.

Identyfikację modelu matematycznego obiektu badań przedstawia rys. 1.



- N- zbiór systemów otoczenia
- W- cały system
- > sterowanie
- - - - -> informacja
- - - - -> zasilanie materiałowe
- ====> wyjście funkcjonalne

Rys.1. Identyfikacja modelu matematycznego obiektu badań  
Fig.1. Identification of the mathematical model of research object

Rys.2. Powiązania między systemami specjalnymi  
Fig.2. Connections between special system

System można w pewnym uproszczeniu zdefiniować jako określone kombinacje czynników współzależnych i współpracujących dla osiągnięcia wspólnego celu, a więc system jest zbiorem elementów powiązanych między sobą, umożliwiającymi osiągnięcie celu. Każdy z jego elementów może być traktowany jako samodzielny system.

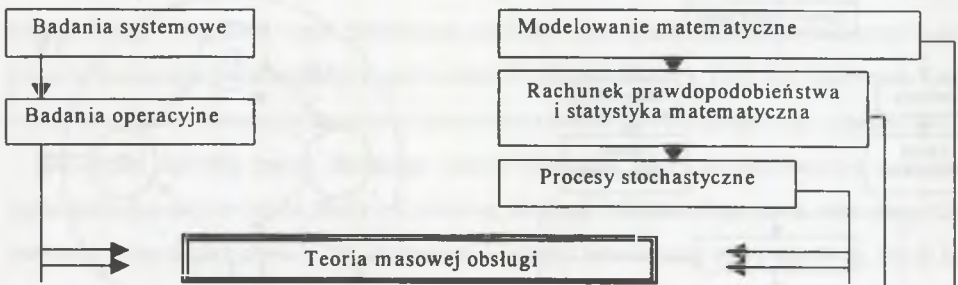
W odniesieniu do obiektów, procesów i problemów technicznych wyróżnia się cztery rodzaje systemów specjalnych (rys. 2) [7]:

- procesowy P, który zapewnia zdolność systemu do funkcjonowania;
- sterowania C, który służy do kierowania i koordynacji działania;
- informacyjny J, służący do organizacji przetwarzania i dystrybucji strumieni informacji;
- logistyczny L, służący do utrzymywania i zaopatrywania pozostałych systemów specjalnych, aby działanie całego systemu przebiegało prawidłowo.

Strukturę systemu stanowi zbiór zależności (reakcji) między jego częściami.

### 3. Teoria masowej obsługi

Miejsce teorii masowej obsługi w metodologii badań przedstawia rys. 3.



Rys.3. Miejsce teorii masowej obsługi w metodologii badań

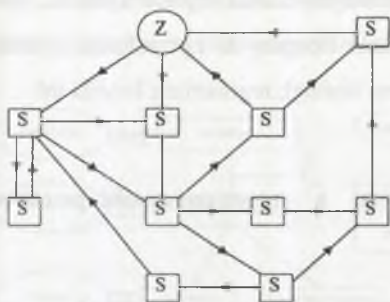
Fig.3. Place of queuing theory in methodology of scientific research

Teoria masowej obsługi bada modele matematyczne rzeczywistych procesów, w których zdarzają się przestoje, oczekiwania, kolejki i straty (rezygnacje) [1,4].

Do specyfikacji każdego systemu obsługi masowej (rys. 4) wymagana jest informacja o trzech głównych składnikach jego struktury, a mianowicie:

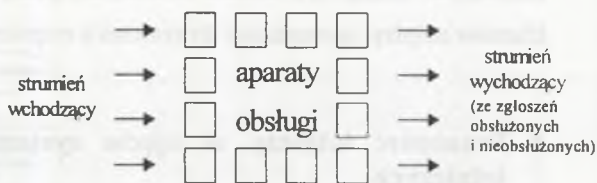
- zgłoszeniach klientów do systemu,
- ich losie w przypadku, gdy nie mogą być niezwłocznie obsłużeni,
- liczbie kanałów i przebiegu samej obsługi.

Przedmiotem teorii masowej obsługi jest charakterystyka ilościowa procesów związanych z masową obsługą, a celem teorii jest opracowanie takich metod matematycznych, które by umożliwiły wyznaczenie podstawowych wskaźników procesów masowej obsługi, pozwalających na ocenę jakości działania systemu obsługi według ogólnego schematu przedstawionego na rys. 5.



Rys.4. Sieci systemów obsługi Z – źródło, S – system obsługi [8]

Fig.4. Networks of services' systems Z – source, S – system of service [8]



Rys.5. Schemat systemu masowej obsługi

Fig.5. Scheme of mass-service system

Aparat matematyczny opisujący obsługę w zależności od celu badań i wyników analizy systemowej obiektu badań może być bardzo prosty lub bardzo złożony.

Dla zwięzłego i jasnego określenia typu systemu masowej obsługi stosuje się symbolikę D.G. Kendalla. W jego klasyfikacji systemy odróżnia się według trzech głównych cech (tabl. 1) [8]:

- typu procesu stochastycznego opisującego zgłoszenia klientów do obsługi;
- rozkładu długości czasu trwania obsługi;
- liczby kanałów obsługi będących do dyspozycji klientów.

Tablica 1

Klasyfikacja Kendalla, znaczenie symboli [8]

Symbol	Model X   Y   n	
	X	Y
M	poissonowski proces zgłoszeń, tj. wykładniczy rozkład (wzajemnie niezależnych) odstępów między zgłoszeniami	wykładniczy rozkład czasu obsługi
$E_k$	rozkład Erlanga odstępów między zgłoszeniami (z parametrami $\lambda$ i $k$ )	rozkład Erlanga czasu obsługi (z parametrami $\lambda$ i $k$ )
$K_n$	rozkład $X^2$ odstępów między zgłoszeniami (z $n$ stopniami swobody)	rozkład $X^2$ czasu obsługi
D	regularne zgłoszenie deterministyczne	stały czas obsługi
G	przypadek ogólny - brak jakichkolwiek założeń w procesie zgłoszeń	dowolny rozkład czasu obsługi
GJ	rekurentny proces zgłoszeń	-

Klasyfikacja Kendalla nie wyczerpuje wszystkich istotnych charakterystyk systemu. Informacje te muszą być zawsze dodatkowo sprecyzowane. Dotyczy to np. założeń o losie klientów między zgłoszeniami do systemu a rozpoczęciem obsługi, regulaminu kolejki itd.

#### **4. Transport lotniczy w ujęciu systemowym a przepustowość portów lotniczych**

Transport lotniczy w pełni odpowiada pojęciu metasystemu lub nadsystemu złożonego z systemów, podsystemów i elementów. Stąd w pierwszej kolejności należy dokonać identyfikacji systemu transportu lotniczego.

Transport lotniczy jest to nadsystem, którego celem jest szybka realizacja przemieszczania pasażerów i towarów z różnych miejsc kuli ziemskiej. Systemami są (rys. 6):

- porty lotnicze z podsystemami – część powietrzna oraz część naziemna,
- korytarze powietrzne,
- transport naziemny zabezpieczający dowóz (odwóz) pasażerów i towarów.

Problemy przepustowości mogą wystąpić oddzielnie w każdym z elementów nadsystemu portu lotniczego zarówno w części powietrznej, jak i naziemnej (w urządzeniach i obsłudze).

Analiza przepustowości części lądowej portu lotniczego umożliwi ocenę jakości, możliwości i potrzeb przystosowania urządzeń części lądowej dla pasażerów, osób odprowadzających, ładunku cargo, dostępu pojazdów i statków powietrznych. Najważniejsza jest obsługa pasażerów.

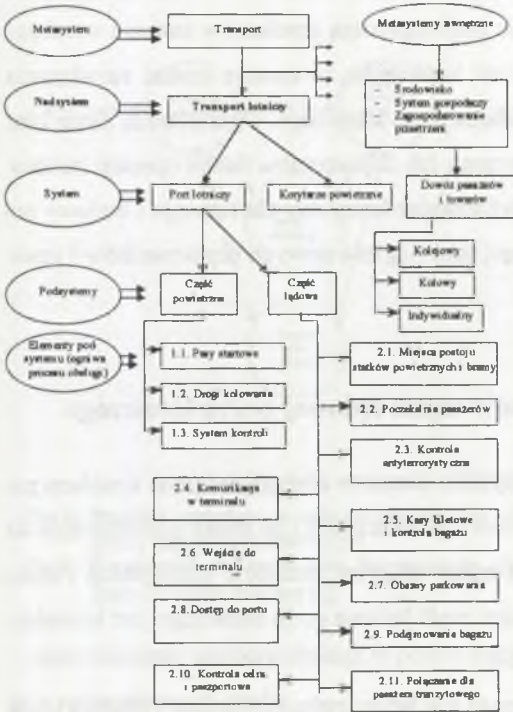
Miarą przepustowości części lądowej jest wielkość obsługi, którą wyraża się liczbą pasażerów, jaka może być obsłużona przez poszczególne elementy procesu obsługi, ich składniki lub grupy składników w określonym czasie i na określonym poziomie obsługi.

Wielkość obsługi elementów portu lotniczego jest zwykle mierzona dla czasu 15 min, 1 h, 2 h lub jednej doby. Dla konkretnego portu lotniczego szczególnie ważny może być całkowity czas poddawania pasażera procesowi obsługi oraz ocena zatłoczenia w dworcu lotniczym.

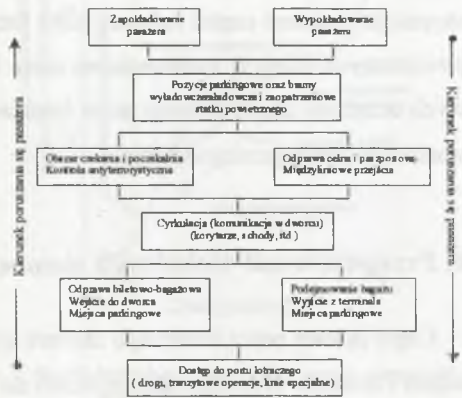
Poziom akceptowalnego opóźnienia obsługi i zatłoczenia, które mogą limitować przepustowość całości, zależą od rodzaju portu lotniczego i jego standardu.

Wszystkie elementy części lądowej są ważne, jednak nie wszystkie powodują opóźnienia pasażerów i zatłoczenie, a więc stają się znaczące dla ustalenia przepustowości części lądowej portu lotniczego. Kioski, publiczne aparaty telefoniczne, restauracje, i miejsca odpoczynku są istotnymi udogodnieniami, jednak są rzadko podstawą dla oceny przepustowości części lądowej.

wej. Najbardziej znaczące elementy i grupy procesu obsługi w ustaleniu przepustowości lądowej części portu lotniczego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Elementy nadsystemu transportu lotniczego  
Fig. 6. Elements of air-transportation over-system



Rys. 7. Elementy strony lądowej portu lotniczego najbardziej znaczące w ustalaniu jego przepustowości [9]  
Fig. 7. Landside components most likely to determine capacity [9]

## 5. Wpływ uwarunkowań zewnętrznych na przepustowość portu lotniczego

Porty lotnicze mają istotny wpływ na zagospodarowanie terenu. Pasażerowie i spedytorzy przesyłek bagażowych przez porty lotnicze mają dostęp do krajowego i międzynarodowego transportu powietrznego. Porty i przedsiębiorstwa komunikacji lotniczej oferują różne usługi wobec pasażerów i gości. Społeczeństwo lokalne związane bliskością z portem lotniczym może wykorzystywać port dla transportu, pracy i rozrywki, ale również może być narażone na hałas i utratę powierzchni terenu.

Planowanie strategiczne i operacyjne portu lotniczego oraz jego infrastruktury musi brać pod uwagę wpływ otaczającego środowiska na jego przepustowość.

Port lotniczy będzie pracował w konkretnym środowisku, a przedsiębiorstwa transportu lotniczego, w przypadku rozwoju portu lotniczego, będą musiały zabezpieczać wymagania tego środowiska. Jeżeli środowisko (społeczność lokalna) spostrzeże, że korzyści z istnienia i rozwoju portu lotniczego (miejsca pracy) nie zrekompensują problemów hałasu i wzmożonego ruchu drogowego towarzyszącego portowi lotniczemu, to zacznie szukać rozwiązania prowadzącego do ograniczenia rozwoju i działania portu lotniczego. Ograniczeniu może ulec ekspansja urządzeń części lądowej portu lotniczego lub dopuszczalna liczba operacji statków powietrznych. Wpływ społeczeństwa może być również korzystny dla rozwoju i budowy nowych urządzeń części lądowej portu lotniczego, przyciągania nowych użytkowników i inwestorów otoczenia przemysłowego.

## **6. Przepustowość niektórych elementów części lądowej portu lotniczego**

Część lądowa portu lotniczego zawiera wszystkie elementy obsługi związane z ruchem pasażera i towarów z miejsca zamieszkania do statku powietrznego i ze statku powietrznego do celu podróży. Przepustowość tej części portu zależy od typu, rozmiaru, konfiguracji i stanu tych usług oraz sposobu wyposażenia. Tak więc część lądowa portu lotniczego jest kompleksem indywidualnie funkcjonujących elementów.

Przepustowość części lądowej portu lotniczego jest bezpośrednio związana z obsługą pasażerów, osób odwiedzających port lotniczy i przyjęcia przesyłek bagażowych, dojazdu pojazdów oraz obsługi statków powietrznych. Przepustowość pasażerów odzwierciedla zarówno tempo przepływu, jak i zatłoczenie. Oczekiwanie w porcie lotniczym jest jedynie tymczasowe i obszary czekania mogą zapełniać się i opróżniać kilka razy podczas typowego dnia. Wskazanie miejsc zatłoczenia nie wyczerpuje problemu przepływu potoku pasażerów przez stronę lądową.

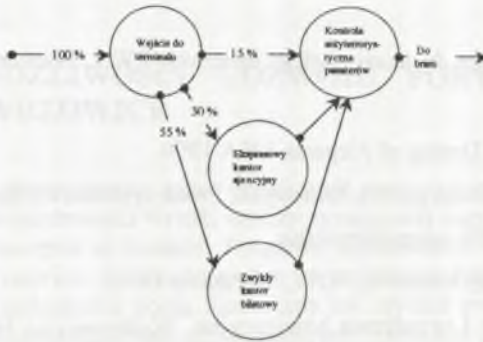
Przepustowość można oceniać dla indywidualnego elementu procesu obsługi części lądowej portu lotniczego, takiego jak stanowisko odprawy bagażowo-biletowej albo bramy wyładowniczo-załadowniczej statku powietrznego, lub dla grupy elementów.

Jak złożony może być problem przepustowości punktu odpraw pasażerów, przedstawiają rys. 8 i 9.

Dla wygody klientów porty lotnicze stwarzają między innymi możliwości wcześniejszego zakupu biletu przez Internet i stosują agencyjne punkty odpraw bagażowo-biletowych.

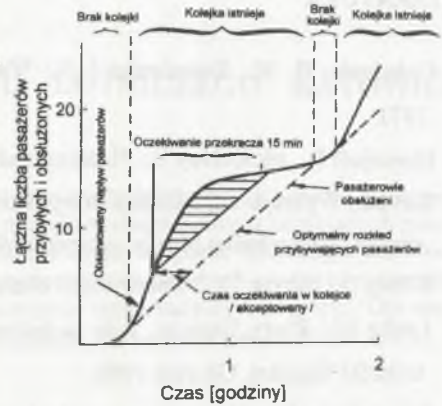


Dla każdego konkretnego portu lotniczego konieczne jest wykonanie podstawowych badań eksperymentalnych zachowania się klientów i ich rozkładu przybycia do portu, dojścia do kantoru odprawy biletowej, prędkości chodzenia i czasu obsługi.



Rys.8. Przykład przepływu pasażerów do punktów odprawy bagażowo-biletowej [9]

Fig.8. Example of passenger flow link-and-node diagram for ticket counters [9]



Rys.9. Przepływ pasażerów przez stanowisko bagażowo-biletowe

Fig.9. Flow of passengers trough ticket and baggage check counter

Inne elementy procesu obsługi w porcie lotniczym mają równie złożony charakter i wymagają szczegółowych analiz.

## 7. Wnioski

- Wykorzystanie teorii systemów i masowej obsługi do badań przepustowości portów lotniczych jest niezbędne dla optymalizacji decyzji inwestycyjnych i organizacyjnych. Transport lotniczy to nadsystem, w którym systemami są:
  - porty lotnicze z podsystemami – część powietrzna oraz część naziemna,
  - korytarze powietrzne,
  - transport naziemny zabezpieczający dowóz (odwóz) pasażerów i towarów.
- Podjęcie kompleksowych badań nad przepustowością portów lotniczych wymaga między innymi:
  - ustalenia kryteriów, miar i wskaźników przepustowości portu lotniczego,
  - zdefiniowania rozmiaru obsługi, poziomu i komfortu, miejsc (ogniw) o najmniejszej przepustowości oraz wskaźników charakteryzujących przepustowość elementów portu lotniczego,

- dostosowania metod obliczeniowych do konkretnych przypadków rozwiązań technicznych.

## LITERATURA

1. Gniedenko B. W., Kowalenko J. N.: Wstęp do teorii obsługi masowej, PWN, Warszawa 1971.
2. Horonjeff R., McKelvey F.: Planning and Desing of Airports, USA 1994.
3. Kot M.: Wybrane zagadnienia przepustowości portów lotniczych, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, wrzesień 1998, niepublikowana.
4. König D., Stoyan D.: Metody teorii obsługi masowej, WNT, Warszawa 1979.
5. Leśko M.: Porty lotnicze. Pola wlotów i urządzenia nawigacyjne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1991.
6. Polański Z.: Współczesne metody badań doświadczalnych, WP, Warszawa 1978.
7. Ziemia S., Jarominek W., Staniszewski R.: Problemy teorii systemów, WPAN Ossolineum, Wrocław 1980.
8. Zitek F.: Stracony czas, PWN, Warszawa 1974.
9. Transportation Research Board, Special Report 215: Measuring airport landside capacity, Washington, D.C. 1987.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Bernard Rzczyński

## Abstract

In this paper elements of the theory of systems and problems, which can have direct application for research of airport capacity, are presented. Optimization of investment and organizational decisions that relating to the specific airport will demand wide utilization of these theories, application of the suitable mathematical models and carrying out widely conceived experimental investigation.

Elements of the air transportation system and influencing it external other systems has been identified. The analyses of the influence of processes, proceeding in elements of these systems, on airport capacity, in peculiarity its landside part, has been made. Attention has been paid to the possibilities of the use of this theory of congestion for analysis of these processes.