

OPTIMUM SPECIALIZATION FIELDS OF MULTITASK AIR TRANSPORTATION SYSTEM COMPONENTS

Andrzej Majka, Zbigniew Klepacki

Rzeszow University of Technology
Al. Powstancow Warszawy 8, 35-021 Rzeszow, Poland
tel.: +48 17 8651604, fax: +48 17 8543116
e-mail: andemajk@prz.edu.pl, zbigklep@prz.edu.pl

Abstract

An individual characteristic of technical objects utilized in aviation (and not only in aviation) is their multipurpose and multitask. These properties regard both single airplane and sets of airplanes (fleet of airplanes). It is expressed by task variety, which fleet of airplanes (airline) must realize, and in variety of working space. Set of various both length air routes and airplanes traffic density constitutes set of tasks. The only way to increase affectivity is utilize airplane in restricted field (specialization). Technical differences and individual geographic and climatic characteristics of airdromes are operating conditions. Set of tasks and operating conditions of airplanes define multitasks (general-purpose) of the character of their application.

An algorithm of determination of airplane fleet optimal specialization fields is presented. Some example results are presented for a hypothetical airplane fleet of twin-engine, pistonprop and turboprop, general aviation, transport category aircrafts. In calculated example airplanes geometry and tasks set characteristics are fixed. The analysis objective is searching of airplanes optimum specialization fields.

Keywords: transport, air transport, air transportation systems, optimisation, optimum task distribution

OPTYMALNE OBSZARY SPECJALIZACJI ELEMENTÓW WIELOZADANIOWEGO SYSTEMU LOTNICZEGO

Streszczenie

Cechą charakterystyczną pojedynczych samolotów i ich zbiorów, składających się na określony park lotniczy jest wielozadaniowość i wykorzystywanie ich w ramach większych systemów. Przejawia się ona różnorodnością celów, które musi zrealizować park samolotów (np. linia lotnicza), oraz różnorodnością warunków jego funkcjonowania. To właśnie definiuje wielozadaniowy (uniwersalny) charakter zastosowania samolotów. Droga do zwiększenia efektywności dla użytego wskaźnika jest wykorzystywanie samolotu nie w całym obszarze możliwych zastosowań, lecz w obszarze zawężonym (specjalizacja). Powoduje to konieczność znalezienia optymalnego rozkładu zadań pomiędzy „konkurującymi” samolotami w celu wyznaczenia obszarów specjalizacji dla każdego z nich.

W pracy przedstawione zostało rozwiązanie zadania, polegającego na znalezieniu optymalnych obszarów specjalizacji (będących podzbiorami zbioru zadań całego systemu) elementów wielozadaniowego systemu lotniczego. W pracy zawarty został opis metody i algorytmu rozwiązywania zagadnienia optymalnego rozkładu zadań systemu wielozadaniowego, opracowanych z wykorzystaniem wskaźnika jakości lokalnej. Przy tworzeniu zaprezentowanego algorytmu wykorzystano ogólne własności zbioru realizowanych zadań i wskaźnika efektywności całego systemu oraz specyficzne własności systemu lotniczego i wskaźnika oceny efektywności lokalnej.

Dla zilustrowania prezentowanego zagadnienia przedstawiony został przykład obliczeniowy polegający na znalezieniu obszarów specjalizacji dla wybranych typów samolotów hipotetycznego parku lotniczego. Obliczenia wykonane zostały dla parku samolotów krótkiego zasięgu.

Słowa kluczowe: transport, transport lotniczy, lotnicze systemy transportowe, optymalizacja, optymalny podział zadań

1. Wstęp

Optymalizacja wielozadaniowego systemu lotniczego polega na wyborze jego charakterystyk w sposób zapewniający minimalizację wskaźnika jakości całego systemu. Dla samolotów systemu

o ustalonych parametrach technicznych, najwyższa jakość jest osiągana z reguły w jednym, określonym zadaniu. Natomiast przy wykonywaniu wszystkich innych zadań, jednorodnych lub niejednorodnych, samolot zawsze traci na jakości z punktu widzenia osiągnięcia celu. Tego rodzaju strata charakteryzuje poziom uniwersalności przy wykonywaniu poszczególnych zadań. Drogą do zwiększenia efektywności dla użytego wskaźnika jest wykorzystywanie samolotu (elementu systemu) nie w całym obszarze możliwych zastosowań, lecz w obszarze zawężonym (specjalizacja). Powoduje to konieczność znalezienia optymalnego rozkładu zadań pomiędzy „konkurującymi” samolotami w celu wyznaczenia obszarów najbardziej efektywnego zastosowania każdego z nich (tzw. obszarów specjalizacji).

W celu rozwiązania zadania, polegającego na znalezieniu optymalnych obszarów specjalizacji należy stworzyć odpowiedni algorytm wykorzystujący specyficzne własności systemu lotniczego i wskaźnika efektywności. Rozwiązanie zadania polega na znalezieniu dla każdego samolotu systemu, obszaru specjalizacji będącego podzbiorem zbioru zadań.

Z powyższych rozważań wynika, że pojedyncze samoloty lub ich zbiory mogą być traktowane jako systemy wielozadaniowe, o następujących własnościach:

- Każdy z analizowanych systemów funkcjonuje w różnorodnych warunkach i jest wykorzystywany do różnych zadań. Jest również projektowany i wykonywany w warunkach nieokreśloności celów.
- Różnorodność celów do wypełnienia, których wykorzystuje się systemy lotnicze, implikuje konieczność stosowania różnorodnych wskaźników oceny ich efektywności, odzwierciedlających różne punkty widzenia.
- W ramach systemu jego elementy współdziałają między sobą współpracując (elementy jednotypowe) lub konkurując (elementy różnych typów).

2. Model Matematyczny systemu wielozadaniowego

Modelem matematycznym parku samolotów o tak specyficznych własnościach może być system wielozadaniowy [1, 2, 3, 10].

Każdy system wielozadaniowy składa się z pewnej, skończonej liczby m elementów, które tworzą zbiór A nazywany strategią. Zbiór wszystkich elementów x_i , które mogą potencjalnie wchodzić w skład systemu, nazywany jest zbiorem strategii i oznaczany X , czyli:

$$x_i \in X \text{ dla } i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

strategia A definiowana jest jako:

$$A = \{x_i\} \subset X \text{ gdzie } i = 1, \dots, m. \quad (2)$$

Zakłada się, że zadany będzie zbiór zadań Y . Na zbiorze tym zdefiniowano całkowitoliczbową funkcję $E(y)$, przyjmującą wartości $1, 2, \dots, m$ – zwaną funkcją rozdziału [1, 3]. Obszarem specjalizacji D_i , elementu $x_i \in A$ dla $i = 1, \dots, m$, nazywany będzie podzbiór zbioru Y , w punktach którego funkcja rozdziału przyjmie wartości równe i :

$$D_i = \{y \in Y : E(y) = i\} \text{ dla } i = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Obszary specjalizacji muszą spełniać dwa podstawowe warunki:

1. obszary specjalizacji dla różnych elementów nie mogą mieć części wspólnych

$$D_i \cup D_k = \emptyset; \forall i, k = 1, \dots, m; i \neq k, \quad (4)$$

2. suma wszystkich obszarów specjalizacji musi być równa zbiorowi zewnętrznemu Y

$$\bigcup_{i=1}^m D_i = Y, \quad (5)$$

Trzy główne elementy przedstawionego modelu $\langle A, Y, E(y) \rangle$ nazywa się systemem wielozadaniowym.

Wektor jakości wielozadaniowego systemu skalarnego [2, 3, 9, 10] można zdefiniować następująco:

$$F = F[A, Y, E(y)]. \quad (6)$$

Wprowadzając do modelu matematycznego systemu wielozadaniowego pojęcia funkcji jakości lokalnej $f[x, y, \mu(D)]$ obszaru specjalizacji D_i statku latającego $x_i \in A$, można wyrazić wskaźnik jakości systemu wielozadaniowego (6) poprzez jego wartości w poszczególnych obszarach specjalizacji D_i poszczególnych elementów $x_i \in A$ [1, 2, 3]:

$$F[X, A, E(x)] = \sum_{i=1}^m \sum_{x \in D_i} f[x, y_i, \mu(D_i)] \quad X = \bigcup_{i=1}^m D_i, \quad (7)$$

gdzie:

$\mu(D_i)$ - miara obszaru specjalizacji D_i [1, 2, 3].

3. Wskaźniki efektywności

Do scharakteryzowania jakości realizacji poszczególnych zadań transportowych przez park samolotów wykorzystano kryterium realizacji pojedynczych zadań (tzw. kryterium jednostkowe). Dobór odpowiedniego kryterium do rozwiązywanego zadania projektowego dokonywany jest na podstawie analizy zadań i celów, które musi zrealizować samolot.

Do niedawna powszechnie wykorzystywaną miarą jakości samolotu transportowego wykonującego pojedyncze zadanie, była masa startowa samolotu m_{TO} . Na jego podstawie zbudować można wskaźnik oceny efektywności przy ustalonej wartości m_{TO} , porównujący pracę poniesioną na wykonanie zadania transportowego z nakładem czasu niezbędnym na jej wykonanie, nazywany wydajnością transportową [1, 3, 4, 11, 12],

gdzie:

$$\bar{W} = \frac{m_H}{m_{TO}} \frac{L_Z}{T_{BL}} = \bar{m}_H V_{BL}, \quad (8)$$

m_H - masa ładunku płatnego (masa handlowa),

T_{BL} - czas blokowy zadania (całkowity czas wykonania zadania),

V_{BL} - prędkość blokowa samolotu (średnia prędkość przewozu ładunku),

L_Z - odległość przelotu.

Drugą grupę kryteriów oceny efektywności samolotu stanowią kryteria ekonomiczne. Podstawowym i najbardziej rozbudowanym wskaźnikiem oceny jest całkowity koszt życia samolotu LCC (Life Cycle Cost), rozumiany jako koszt projektowania, badań, produkcji, sprzedaży, użytkowania i utylizacji samolotu określonego typu. Koszt życia samolotu jest sumą czterech składników [13]:

$$LCC = C_{RDTE} + C_{ACQ} + C_{OPS} + C_{DISP}, \quad (9)$$

gdzie:

C_{RDTE} - koszt fazy projektowania, rozwoju, badań i testów,

C_{ACQ} - koszt sprzedaży,

C_{OPS} - koszt operacyjny,

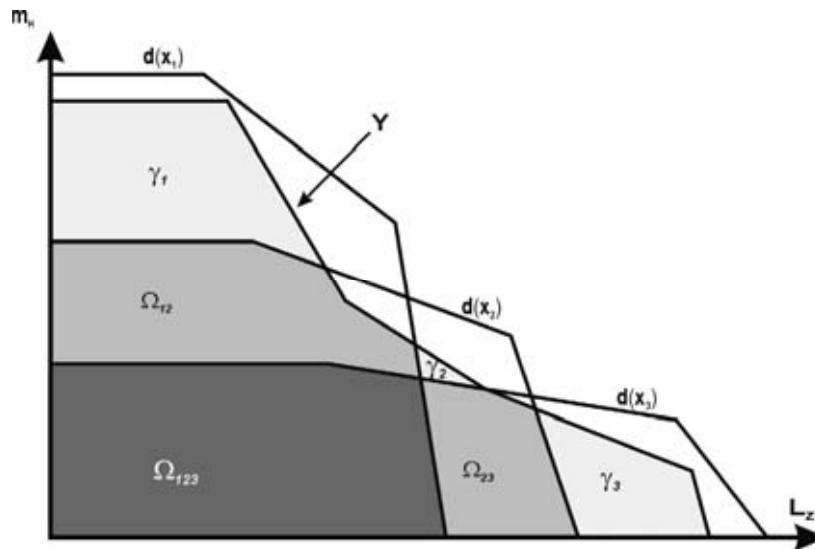
C_{DISP} - koszt utylizacji samolotu po okresie eksploatacji.

Na bazie kryterium (9) można utworzyć kryteria pochodne, np. bezpośredniego kosztu operacyjnego DOC (Direct Operating Cost), wyrażające koszt pokonania 1 km przez samolot określonego typu [11, 13].

Obliczenia wykonano dla kryterium (funkcja jakości lokalnej) wydajności transportowej oraz bezpośredniego kosztu operacyjnego.

4. Metoda rozwiązania

Zagadnienie dotyczy podziału zbioru zadań między samolotami n -typowego parku samolotów. Z uwagi na dużą liczbę elementów zbioru zadań, problematyczne staje się wykorzystanie go w całości. Można jednak skorzystać ze statystycznego opisu zbioru i na jego podstawie wyznaczyć dużo mniejszy „zbiór reprezentatywny” poddający się obróbce numerycznej w rozsądnym czasie i gwarantujący wystarczającą dokładność odwzorowania rzeczywistości [6, 7, 8, 10].



Rys. 1. Możliwości transportowe parku samolotów (obszary współdziałania - γ i konkurencji - Ω)

Fig. 1. Airplane fleet transport potential (cooperation - γ and competition - Ω fields)

Dla zapewnienia założonej objętości przewozów lotniczych wykorzystuje się parki lotnicze, w skład których wchodzi samoloty różnych typów, a efektywny ich dobór decyduje o jakości całego parku. Współdziałanie samolotów w ramach parku przejawia się przede wszystkim w tym, że możliwości różnych samolotów, z reguły, częściowo się pokrywają. Tworzą się więc alternatywne obszary Ω_{12} , Ω_{123} , Ω_{23} (Rys.1) [1, 2, 3], dla pokrycia których możliwe jest użycie dwóch lub większej liczby różnych typów samolotów. Powstająca przy tym niejednoznaczność powoduje konieczność rozkładu zadań z obszaru alternatywnego pomiędzy „konkurujące” samoloty i wyznaczenia obszarów najbardziej efektywnego zastosowania każdego z nich.

Zadanie optymalnego rozkładu, formułowane dla sumacyjnego wskaźnika jakości [1, 3, 10], rozwiązane zostało przy użyciu algorytmu wykorzystującego pewne właściwości funkcji celu $F(\mathbf{x}, \mathbf{D})$. Rozwiązanie zadania polega na znalezieniu optymalnych obszarów specjalizacji \mathbf{D}_i , $i = 1, \dots, m$ elementów strategii \mathbf{A} , będących podzbiórami zbioru zadań osiągalnych. Rozwiązanie zadania optymalnego rozkładu poszukiwane jest tylko dla obszarów alternatywnych (Ω - Rys. 1). Proponowany algorytm ma charakter rekurencyjny i został zbudowany na zasadzie jednoznacznego szeregowania elementów systemu \mathbf{A} , poczynając od stopnia 1 do m (stopnie mogą być traktowane jako numery uporządkowanych elementów) i został opisany w pracach [5, 9, 10].

5. Wyniki obliczeń

Problem polega na znalezieniu optymalnego rozkładu zadań transportowych pomiędzy samolotami pewnego systemu. W celu uproszczenia obliczeń założono, że czas wykonania wszystkich zadań nie jest istotny, dzięki czemu nie trzeba wyznaczać wymaganej liczby egzemplarzy samolotów każdego typu i stosować skomplikowanych modeli funkcjonowania.

Obliczenia wykonano dla systemu wielozadaniowego, w którym:

- zbiór Y jest zbiorem zadań polegających na przewiezieniu określonej masy (handlowej) na zadaną odległość. Zbiór zadań składa się z siedmiuset elementów wygenerowanych z określonym rozkładem,
- strategia A jest zbiorem różnych samolotów realizujących zadania transportowe,
- liczba typów elementów strategii (liczba typów samolotów) $m = 6$.

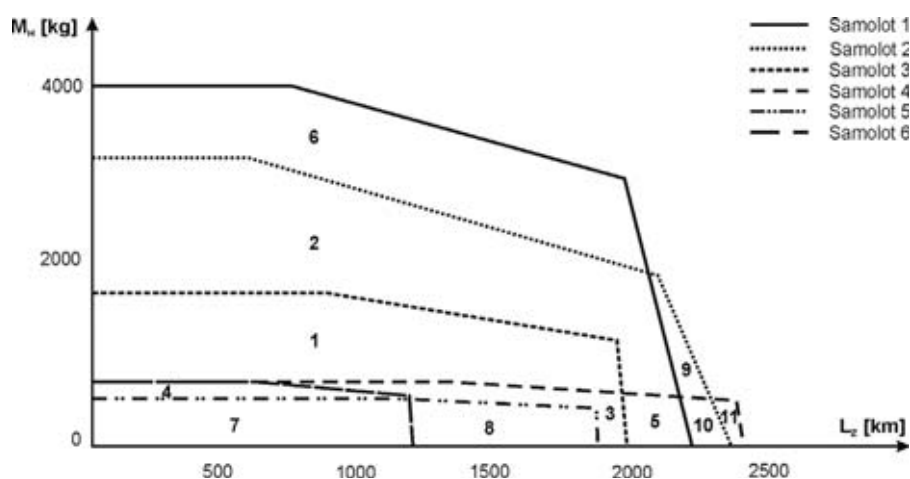
Obliczenia wykonano dla dwóch kryteriów. W pierwszym przypadku dla oceny efektywności wykonania pojedynczego zadania transportowego przyjęto kryterium efektywności transportowej. W drugim przypadku jako kryterium przyjęto bezpośredni koszt operacyjny.

Podstawowe charakterystyki samolotów wykorzystywanych w przykładzie obliczeniowym zawiera tabela 1.

Tab. 1. Wybrane parametry samolotów systemu
Tab. 1. Selected parameters of airplanes of air transport system

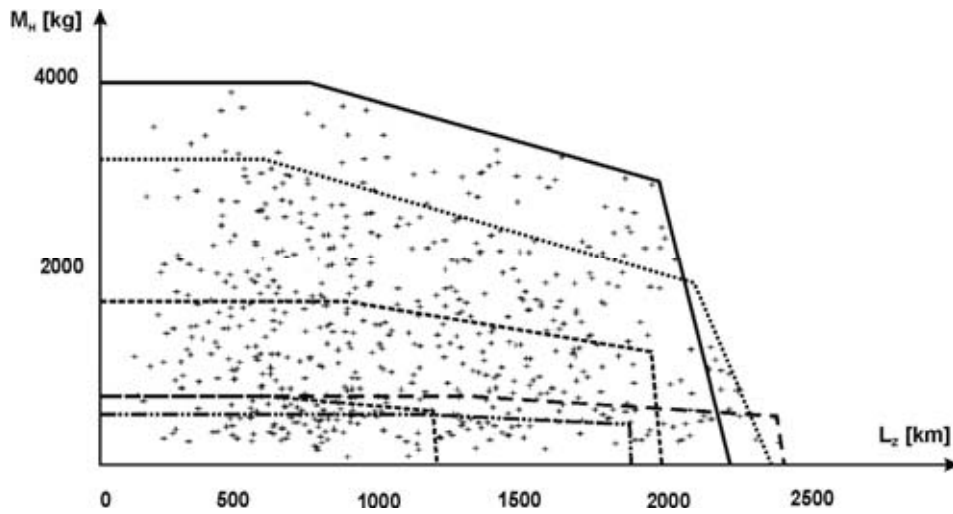
Parametr	Samolot					
	1	2	3	4	5	6
Rozpiętość [m]	25.9	19.78	19.48	12	11.85	14.94
Powierzchnia [m ²]	54.35	39.43	35.18	16.6	19.39	30.2
Długość kadłuba [m]	20.82	20	14.47	9.55	6.22	10.86
Moc nominalna silników [kW]	2 × 1490	2 × 1185	2 × 544	2 × 149	2 × 180	2 × 224
Masa startowa [kg]	15500	10800	5800	1990	2050	2990
Liczba pasażerów [-]	36	30	18	7	4	8

Pokrywanie się obszarów możliwości transportowych powoduje niejednoznaczność rozkładu zadań z obszarów, w których możliwe jest zastosowanie co najmniej dwóch samolotów. Możliwości transportowe samolotów systemu oraz numerację podobszarów charakterystycznych przedstawia Rys. 2.

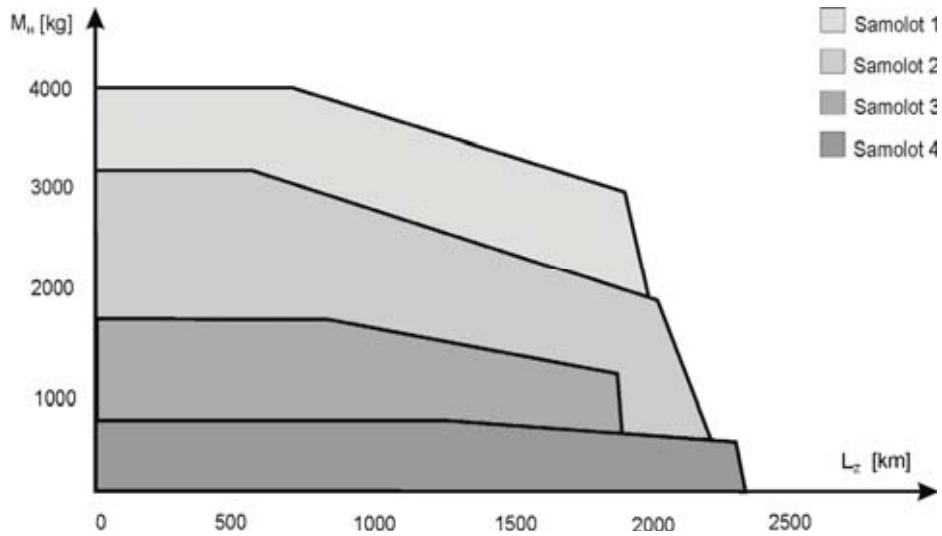


Rys. 2. Obszary możliwości transportowych samolotów systemu
Fig. 2. Transport possibilities fields of air transport system airplanes

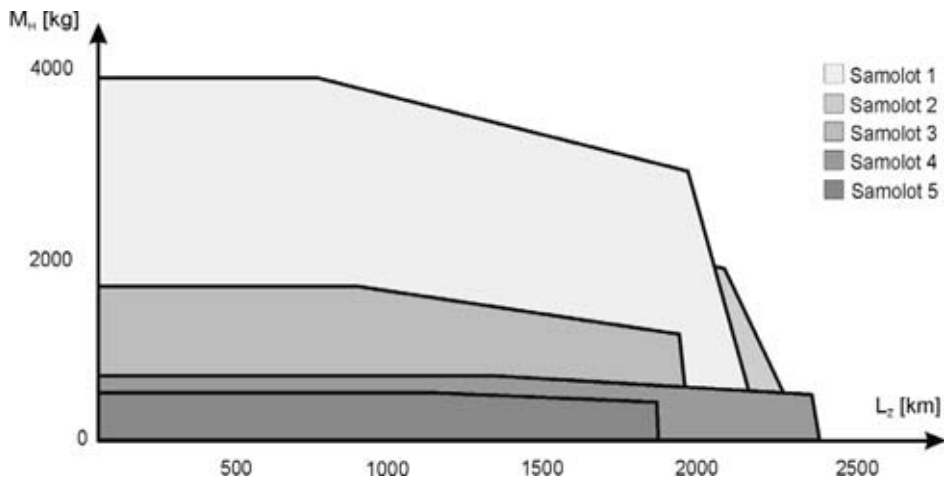
Struktura zbioru zadań Y na tle możliwości transportowych samolotów systemu, pokazana została na Rys. 3.



Rys. 3. Rozkład zadań na zbiorze Y
 Fig. 3. Tasks distribution on Y set



Rys. 4. Optymalne obszary specjalizacji dla wskaźnika efektywność transportowa
 Fig. 4. Optimum specialization fields for transport effectiveness criterion



Rys. 5. Optymalne obszary specjalizacji dla wskaźnika kosztowego
 Fig. 5. Optimum specialization fields for economic criterion

Wskaźniki jakości, osiągane przez każdy samolot na odpowiednich podobszarach, wyznaczono jako sumę wskaźników jednostkowych dla każdego zadania. Optymalne obszary specjalizacji elementów systemu przedstawiają Rys. 4 i 5.

6. Wnioski

1. W rozważaniach założono, że pojedyncze zadanie realizowane jest przez samolot w trakcie jednej, nieprzerwanej misji. Zmieniając to założenie, można wyeliminować z systemu niektóre typy samolotów, realizujące bardzo wąski zakres zadań (np. samolot 2 dla wskaźnika kosztowego).
2. Wybór kryterium znacząco wpływa na postać rozwiązania (różna liczba typów samolotów funkcjonujących w systemie, inne obszary specjalizacji).
3. Prezentowana metoda nie uwzględnia liczebności typów samolotów parku, ze względu na zbyt prosty model funkcjonowania systemu. Modyfikacja metody usuwająca tą niedogodność nie zmieni algorytmu rozwiązania zadania rozkładu.
4. Kryterium efektywności transportowej uniemożliwia analizę wpływu liczby egzemplarzy samolotów danego typu na efektywność całego systemu. Z tego powodu korzystniejsze jest posługiwanie się kryteriami ekonomicznymi.
5. Przedstawiona metoda może być pomocna przy wyborze nowego typu samolotu do istniejącego parku, w celu podwyższenia efektywności działania systemu.
6. Zastosowanie rekurencyjnego algorytmu szeregowania elementów pozwala uprościć rozwiązywanie zadania optymalnego rozkładu, w porównaniu do metod programowania matematycznego.

Literatura

- [1] Baranow, S. K., Brusow, W. S., *Optymalnoje projektowanije lietatelnych aparatow*, Mnogocielewoj podchod, Maszynostrojenije, Moskwa, 1974.
- [2] Brusow, W. S., Pijawskij S. A., Chwikon, E. A., *Optymalizacja parametrow mnogocelowych letiatelnych aparatow*, Maszynostrojenije, Moskwa, 1974.
- [3] Brusow, W., *Optymalne projektowanie wielozadaniowych statków latających*, Wyd. ILot, Warszawa, 1996.
- [4] Erep, C. M., *Projektirobanije samolietow*, Maszynostrojenije, Moskwa, 1983.
- [5] Klepacki, Z., Majka, A., *A method which takes into account a set of Airplane tasks*, Recent Research and Design Progress in Aeronautical Engineering and its Influence on Education, z. 2, s.135-139, Warszawa 2001.
- [6] Klepacki, Z., Majka, A., *Znaczenie struktury zbioru zadań w projektowaniu systemu wielozadaniowego*, Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Mechanika w Lotnictwie ML-IX 2000, s 207-214, Warszawa 2000.
- [7] Klepacki, Z., *Zawężenie zbioru zadań w optymalizacji samolotu wielozadaniowego*, Materiały XVII Ogólnopolskiej Konferencji POLIOPTYMALIZACJA I KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA, Zeszyty Naukowe Wyd. Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, str. 121-129, Mielno, 1999.
- [8] Kranz, O., *Konfigurationsauslegung von Verkehrsflugzeugen unter Berücksichtigung ihres Einsatzspektrums*, VDI-Verlag, Berlin, 1993.
- [9] Majka, A., *Dobór parametrów samolotu poprawiającego efektywność lotniczego przedsiębiorstwa transportowego*, III Międzynarodowa Konferencja Naukowa TiBRD'03, Katowice-Ustroń, 2003.

- [10] Majka, A., *Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych oraz przewidywanych charakterystyk eksploatacyjnych lekkich samolotów transportowych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, 2000.
- [11] Raymer, D. P., *Aircraft Design. A Conceptual Approach*, AIAA Education Series, Washington, 1989.
- [12] Roskam, J., *Airplane Design, Part V, Component Weight Estimation*, The University of Kansas, 1989.
- [13] Roskam, J., *Airplane Design, Part VIII, Airplane Cost Estimation: Design, Development, Manufacturing and Operating*, The University of Kansas, 1989.

Praca naukowa finansowana jest ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.