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, PRZESTRZEŃ, 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, OPTYMALIZACJA

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

ISBN 83-894-7519-7
EAN 9788389475190

Redakcja i opracowanie techniczne: Jan W. Owsiński, 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 Kałuszko
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. Owsiński
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

Komitety 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
Olgierd Hryniewicz, Dyrektor Instytutu Badań Systemowych
Janusz Kręcikij, Komendant Akademii Obrony Narodowej

Komitet Programowy

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

Tomasz Ambroziak
Marian Chudy
Olgierd Hryniewicz
Ignacy Kaliszewski
Piotr Kulczycki
Barbara Mażbic-Kulma
Włodzimierz Ogryczak
Andrzej Piegat
Honorata Sosnowska
Andrzej Straszak
Ryszard Tadeusiewicz
Jan Węglarz

Ryszard Budziński
Ludosław Drelichowski
Adam A. Janiak
Józef Korbicz
Małgorzata Łatuszyńska
Zbigniew Nahorski
Wojciech Olejniczak
Krzysztof Santarek
Henryk Spustek
Tomasz Szapiro
Eugeniusz Toczyłowski
Tadeusz Witkowski
Bogdan Zdrodowski

Wojciech Cellary
Jerzy Hołubiec
Jerzy Józefczyk
Maciej Krawczak
Marek J. Malarski
Andrzej Najgebauer
Jan W. Owsiński
Roman Słowiński
Jan Stachowicz
Andrzej Szymonik
Tadeusz Trzaskalik
Stanisław Zajas

Komitet Organizacyjny

Jan W. Owsiński, Andrzej Kałuszko, Mieczysław Pelc, Zbigniew Piątek

Sekretariat

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

Redakcja wydawnictw

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

Przestrzeń
i transport

ZAGADNIENIE LOKALIZACJI CENTRÓW DYSTRYBUCJI TYPU G/G/1//r

Katarzyna Jakowska-Suwalska

Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania
Katedra Informatyki i Ekonometrii
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze

W pracy przedstawiono nieliniowy model optymalnego wyboru z proponowanych *m* lokalizacji, *p* centrów dystrybucji dla obsługi *n* klientów. Jako kryterium lokalizacji przyjęto minimalizację ryzyka niedotrzymania terminu realizacji zleceń. Przyjęto, że każde centrum dystrybucji CD_j jest systemem masowej obsługi typu G/G/1/ /r_j, gdzie: r_j to liczba klientów zaopatrujących się w tym centrum. Dla znalezienia średniego czasu przebywania zgłoszenia w systemie wykorzystano aproksymację dyfuzyjną.

1. Wprowadzenie

W większości prac dotyczących zagadnień lokalizacyjnych rozważane są kryteria minimalizacji średniej lub maksymalnej odległości pomiędzy centrami dystrybucji a klientami zaopatrywanymi przez te centra (Coullard i in., 2002; Coullard i in., 2001; Daskin, 2001; Ogryczak i Zawadzki, 2002; Goryczak, 2000). W tej pracy kryterium minimalizacji średniej odległości zastąpiono kryterium minimalizacji ryzyka niedotrzymania terminu realizacji zleceń. Oznacza to, że minimalizowana będzie suma przekroczeń ustalonych dla każdego klienta średnich, całkowitych czasów obsługi (od momentu złożenia zamówienia do momentu dostarczenia towaru). W całkowitym, średnim czasie obsługi zawarto średni czas przebywania zamówienia w centrum i średni czas pokonania trasy z centrum do klienta. Czas przebywania zamówienia w centrum zależy od szybkości pracy centrum, a także od liczby klientów zaopatrujących się w nim (możliwość tworzenia się kolejek klientów oczekujących na obsługę). Podobne podejście do zagadnienia lokalizacyjnego można znaleźć w pracy Berman, Larson, Chiu (1985), gdzie rozważanym systemem był system M/G/1, w pracy Marianov, ReVelle (1996), gdzie rozważano system M/G/s/0 dla lokalizacji stacji pojazdów. W pracy Jakowska-Suwalska (2006*b*), przyjęto jako centrum dystrybucji system M/M/1//r, natomiast w pracy Jakowska-Suwalska (2006*a*) w tym systemie wyróżniono różne klasy klientów. Ponieważ w niniejszej pracy zajęto się dyskretnym problemem lokalizacyjnym, w którym liczba klientów jest z góry ustalona, zatem każde centrum dystrybucji zostało potraktowane jako system masowej obsługi G/G/1//*r*.

2. System masowej obsługi G/G/1//*r*

W systemie G/G/1//*r* zakłada się, że procesy wejścia i obsługi są zmiennymi losowymi o nieznanych rozkładach prawdopodobieństwa, obsługa odbywa się na jednym stanowisku obsługi oraz źródło zgłoszeń ma rozmiar *r*. System ten jest często nazywany systemem konserwatora. Oznaczmy przez И zmienną losową oznaczającą liczbę zgłoszeń przebywających w systemie, oraz przyjmijmy oznaczenie $p_i(r) = P(И = i)$ gdzie $i = 0, 1, 2,\ldots,r$.

Jak wiadomo (Czachórski, 1999), nie istnieje użyteczny w praktyce, dokładny model systemu G/G/1//*r*. Dla oszacowania wartości prawdopodobieństwa $p_i(r)$ użyto, więc aproksymacji dyfuzyjnej, zastępując dyskretny proces И ciągłym procesem dyfuzji *X*. W procesie tym założono, że liczba zgłoszeń przebywających w systemie zależy jedynie od dwóch pierwszych momentów rozkładów odstępów czasu pomiędzy zgłoszeniami każdego z klientów do systemu oraz czasu obsługi na stanowisku. Przyjęto więc że prawdopodobieństwa $p_i(r)$ będą identyczne dla różnych rozkładów mających takie same dwa pierwsze momenty.

Przyjmijmy oznaczenia:

r - liczba klientów obsługiwanych przez system,

λ - średnia liczba przybyć do systemu w jednostce czasu przez każde z r zgłoszeń,

σ_A^2 - wariancja rozkładu odstępów czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami każdego z r klientów do systemu,

μ - średnia liczba zgłoszeń obsługiwanych przez system w jednostce czasu,

σ_B^2 - wariancja rozkładu czasu obsługi zgłoszeń.

Na podstawie układu równań dyfuzji (Czachórski, 1984, 1999) otrzymujemy następującą postać funkcji *f* gęstości procesu dyfuzji *X*:

$$f_1(x) = \begin{cases} \dfrac{r\lambda p_0(r)}{-\beta_1(r)}\left(1 - e^{z_1(r)x}\right) & \text{dla} \beta_1(r) \neq 0 \\ & \qquad 0 < x \leq 1, \\ \dfrac{2r\lambda p_0(r)}{\alpha_1(r)} x & \text{dla} \beta_1(r) = 0 \end{cases}$$

$$f_i(x) = \begin{cases} f_{i-1}(i-1)e^{z_i(r)(x-i-1)} & \text{dla} \beta_1(r) \neq 0 \\ & \qquad i-1 \leq x < i, \\ f_{i-1}(i-1) & \text{dla} \beta_1(r) = 0 \end{cases} \tag{1}$$

dla $i = 2,\ldots, r$-1,

$$f_r(x) = \begin{cases} \dfrac{\mu p_r(r)}{\beta_r}\left(1 - e^{z_{r1}(r)(x-r)}\right) & \text{dla} \beta_r(r) \neq 0 \\ & \qquad r-1 \leq x < r, \\ \dfrac{2\mu p_r(r)}{-\alpha_r(r)}(x-r) & \text{dla} \beta_r(r) = 0 \end{cases} \tag{2}$$

gdzie: $z_i(r) = \dfrac{2\beta_i(r)}{\alpha_i(r)}$,

$$\beta_i(r) = (r - i + 1)\lambda - i\mu,$$
$$\alpha_i(r) = (r - i + 1)\sigma_A^2\lambda^3 + i\sigma_B^2\mu^3,$$
dla $i = 1, 2, ..., r$.

Funkcja f jest ciągła, więc $f_i(i) = f_{i+1}(i)$ dla $i = 1, 2, \ldots, r\text{-}1$.

Wartości $p_i(r)$ dla $i = 0, 1, 2, \ldots, r$ można obliczyć korzystając z ciągłości funkcji f oraz z warunku:

$$p_0(r) + \int_0^r f(x)dx = p_0(r) + \sum_{i=0}^{r-1} \int_i^{i+1} f_i(x)dx = 1.$$

Wielkość średniej kolejki szacujemy z wzoru:

$$K(r) = \int_1^r x f(x)dx \approx \sum_{i=2}^{r} (i-1) p_i(r),$$

Średni czas przebywania zgłoszenia w systemie z wzoru:

$$T\ (r) = \frac{K(r)}{\lambda(r - S(r))} + \frac{1}{\mu}, \tag{2}$$

gdzie:

$$S(r) = \int_0^r xf(x)dx \approx \sum_{i=0}^{r} ip_i(r), \tag{3}$$

to oszacowanie średniej liczby zgłoszeń przebywających w systemie.

W pracy przyjęto wartości $f(i)$ jako przybliżone wartości prawdopodobieństw $p_i(r)$ dla $i = 1, 2, \ldots, r\text{-}1$. Natomiast wartości $p_o(r)$ oraz $p_r(r)$ wyliczono z warunku $\sum_{i=0}^{r} p_i(r) = 1$.

Z wzorów dyfuzyjnych mamy:

$$\beta_i(r+1) = \beta_{i-1}(r),$$
$$\alpha_i(r+1) = \alpha_{i-1}(r),$$
$$z_i(r+1) = z_{i-1}(r),$$

oraz

$$p_o(r) > p_o(r+1),$$
$$p_i(r+1) > p_i(r).$$

Z powyższych nierówności wynika, że funkcja o postaci:

$$F(x) = \begin{cases} T(k)\ \ dla\ x = k, \\ (T(i+1) - T(i))x + (i+1)T(i) - iT(i+1)\ dla\ k < x < k+1, i = 1,2,... \end{cases} \tag{4}$$

jest funkcją rosnącą i wypukłą w zbiorze liczb rzeczywistych.

3. Konstrukcja modelu

Dane są zbiory: $I = \{1,2,3,...,n\}$ numerów klientów,
$J = \{1,2,3,...,m\}$ numerów kandydatów na centra dystrybucji CD.
Zdefiniujmy zmienne decyzyjne:

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{gdy centrum zlokalizowano w } CD_j, \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku,} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{gdy } i-\text{ty klient zaopatrywany jest przez } CD_j, \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

Przyjmijmy następujące oznaczenia:

t_{ij} - czas przejazdu pomiędzy j-tym kandydatem CD_j a i-tym klientem,

$\frac{1}{\mu_j}$ - średni czas obsługi w CD_j,

$\sigma^2_{B,j}$ - wariancja rozkładu czasu obsługi w CD_j,

T_i-założony czas realizacji zlecenia i - tego klienta,

λ_j - średnia liczba zamówień składanych w jednostce czasu przez każdego z r_j klientów w centrum CD_j,

$\sigma^2_{A,j}$ - wariancja rozkładu odstępów czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami każdego z r_j klientów w centrum CD_j,

p - maksymalna liczba założonych centrów dystrybucji,

r_j - liczba klientów zaopatrujących się w centrum CDj,

$T_j(r_j,)$ - średni czas przebywania zlecenia w centrum CDj, w którym zaopatruje się r_j klientów.

Dla zagadnienia lokalizacji centrów przyjęto:

1. Utworzone powinno zostać p centrów dystrybucji:

$$\sum_{j \in J} y_j = p \ , \tag{5}$$

2. Każdy klient zaopatrywany jest tylko przez jedno centrum:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \ , \ i \in I \ , \tag{6}$$

3. Każdy klient zaopatrywany jest przez istniejące centrum:

$$x_{ij} \le y_j, \ i \in I \ , j \in J \ , \tag{7}$$

4. Całkowity czas realizacji zamówienia i-tego klienta w CDj wynosi

$$T_{ij}(r_j) = (T_j(r_j) + t_{ij}), \qquad , \ i \in I \ , j \in J \ , \tag{8}$$

gdzie: $T_j(r_j) = T_j(\sum_{i \in I} x_{ij})$ wyznacza się ze wzoru (2).

W zagadnieniu lokalizacji jako kryterium wyboru centrów przyjęto minimalizację ryzyka niedotrzymania terminów realizacji zleceń.

Funkcję celu zapisano w postaci:

$$z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} G_{ij}(r_j) \tag{9}$$

$$\text{gdzie}: G_{ij}(r_j) = \max(0, T_{ij}(r_j) - T_i)$$

4. Relaksacja Lagrange'a

Zagadnienie (5)-(9) jest problemem NP-trudnym (Owen i Daskin, 1998). Przy większej liczbie centrów i klientów do redukcji zagadnienia można użyć relaksacji Lagrange'a.

Do funkcji celu wprowadzono ograniczenia równościowe (6). Otrzymano funkcję Lagrange'a:

$$L(\alpha) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} G_{ij}(r_j) x_{ij} + \sum_{i \in J} \alpha_i (1 - \sum_{j \in J} x_{ij}) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (G_{ij}(r_j) - \alpha_i) x_{ij} + \sum_{i \in J} \alpha_i \tag{10}$$

gdzie $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)$.

Zagadnienie Lagrange'a przyjmuje postać:

$$\left.\begin{array}{l} \min\limits_{x_{ij}} \max\limits_{\alpha} L(\alpha) \\ x_{ij} \le y_j \quad i \in I, j \in J, \\ \sum\limits_{j \in J} y_j = p, \\ x_{ij}, y_j \in \{0,1\}. \end{array}\right\} \tag{11}$$

Dla dowolnego α wartość $L(\alpha)$ jest dolnym ograniczeniem wartości z^* funkcji celu (9) w rozwiązaniu optymalnym. Dla ustalonych wartości α należy minimalizować funkcję $L(\alpha)$ ze względu na zmienne lokalizacyjne x_{ij}.

Niech $L^* = \max\limits_{\alpha} L(\alpha)$. Spełnione są nierówności $L(\alpha) \le L^* \le z^* \le z$.

Stąd problem znalezienia takiego rozwiązania, które jest najlepszym dolnym (L^*) i górnym (z) polega na wyznaczeniu mnożników Lagrange'a. Wyznacza się je najczęściej metodami iteracyjnymi (Fisher, 1985).

Procedura iteracyjna ma postać:

1.Przyjąć początkowe wartości mnożników Lagrange'a : $\alpha^0 = (\alpha_1^0, \alpha_2^0, ..., \alpha_n^0)$ oraz $k = 0$.

2. Rozwiązać zagadnienie Lagrange'a:

$$\left.\begin{array}{l} \min\limits_{x_{ij}, y_j} L(\alpha^k) \\ x_{ij} \le y_j \quad i \in I, j \in J, \\ \sum\limits_{j \in J} y_j = p, \\ x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \end{array}\right\} \tag{12}$$

3. Wyznaczyć nowe wartości mnożników Lagrange'a:

$$\alpha_i^{k+1} = \alpha_i^k + v^k (\sum_{i \in I} x_{ij} - 1), \quad i \in I,$$

gdzie:

$$v^k = \beta^k \frac{z - L_*}{\sum\limits_{i \in I} (\sum\limits_{j \in J} x_{ij}^k - 1)^2},$$

$\beta^k \in [0,2]$ to stała w *k*-tej iteracji,

L_* to znalezione największe dolne ograniczenie w dotychczas przeprowadzonych iteracjach,

4. $k = k+1$.

5. Kroki 2 i 4 należy powtarzać, aż:

- $\frac{z - L_*}{L_*} < \varepsilon$ gdzie: $\varepsilon > 0$ to założona dokładność,
- liczba iteracji przekroczyła założoną liczbę iteracji (najczęściej 1000),
- $\beta^k < \beta_{\min}$ gdzie: $\beta_{\min}$ to założony limit dla stałej β.

Najczęściej zadaje się początkowe $\beta^0 = 2$ i po każdych 30 iteracjach przyjmuje się $\beta^{k+1} = \frac{\beta^k}{2}$.

W zagadnieniu lokalizacji G/G/1//r początkowe wartości mnożników Lagrange'a przyjęto:

$$\alpha_i^0 = \frac{\sum\limits_{j \in J} T_j(n)}{m} + \frac{\sum\limits_{i \in I} \sum\limits_{j \in J} t_{ij}}{mn} - T_i.$$

Przykład. Dla ilustracji zagadnienia rozważono problem lokalizacji dwóch centrów (p = 2). W centrach tych zaopatrywać się będzie 10 klientów (n = 10). Wybrano 5 potencjalnych lokalizacji centrów (m = 5). Wygenerowano położenia poszczególnych klientów oraz potencjalnych lokalizacji jako zbiór punktów na płaszczyźnie (x, y), za pomocą rozkładu jednostajnego w przedziale [0;100]. Dla określenia odległości pomiędzy punktami obliczono odległości euklidesowe. Za pomocą tego samego generatora wygenerowano średnie czasy pokonania jednostki odległości na poszczególnych trasach. Utworzono macierz czasów przejazdu poszczególnych tras pomiędzy stanowiskami a potencjalnymi lokalizacjami centrów (Tablica 1). Dla każdego i-tego klienta podano pożądany czas realizacji zlecenia T_i.

Założono, że odstępy czasu pomiędzy zgłoszeniami każdego z klientów do centrów będą zmiennymi losowymi o pewnym nieznanym rozkładzie prawdopodobieństwa ze znanymi parametrami: średnią $\frac{1}{\lambda}$ oraz wariancją σ_A^2.

Tablica 1.Czasy przejazdów t_{ij} pomiędzy klientami K_i a lokalizacjami CD_j

	CD1	*CD2*	*CD3*	*CD4*	*CD5*	T_i
K1	8	29	8	30	19	14
K2	40	47	18	12	13	15
K3	16	90	22	28	15	20
K4	9	6	13	22	50	10
K5	8	28	16	28	37	10
K6	36	60	36	45	67	38
K7	33	18	17	2	2	6
K8	7	8	35	15	6	8
K9	26	17	22	4	8	10
K10	10	14	6	13	10	10

Źródło: Dane umowne

Na początku rozwiązano deterministyczne zagadnienie lokalizacji (5) – (7) z funkcją celu:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} u_{ij} x_{ij} \rightarrow \quad min \tag{13}$$

gdzie: $u_{ij} = max(0, t_{ij} - T_i)$.

Optymalne lokalizacje przy kryterium (13) to centrum *CD1*, w którym zaopatrują się K1, K3, K5 oraz centrum *CD5*, w którym zaopatrują się: K2, K4, K6, K7,K8, K9, K10.

W przykładzie przyjęto:

1. Każdy klient, bez względu na to przez które centrum będzie zaopatrywany, zgłasza się do wybranego centrum $\lambda = 0{,}5$ razy w jednostce czasu, z wariancją odstępów czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami równą $\sigma^2_A = 30$.
2. W potencjalnych centrach dystrybucji przejęto następujące parametry czasu obsługi:

CD1 : $\mu_1 = 0{,}09$, $\sigma^2_{B,1} = 13$,
CD2 : $\mu_2 = 0{,}15$, $\sigma^2_{B,2} = 23$,
CD3 : $\mu_3 = 0{,}15$, $\sigma^2_{B,3} = 15$,
CD4 : $\mu_4 = 0{,}17$, $\sigma^2_{B,4} = 10$,

CD5 : $\mu_5 = 0{,}08$, $\sigma^2_{B,5} = 30$.

Problem optymalnej lokalizacji (5) – (9) rozwiązano i otrzymano następujące wyniki: centra dystrybucji założono w *CD2*, w którym zaopatrywać będą się klienci K2, K4, K6, K7, K8, K9 oraz *CD3,* w którym zaopatrywać będą się: K1, K3, K5, K10. Jak widać potraktowanie centrów jako systemów masowej obsługi G/G/1//*r* zmieniło lokalizacje i przydział klientów do centrów.

Procedury wyznaczające wartości $T_j(r_j)$ oraz wartości mnożników Lagrange'a α_i^k zostały napisane w języku Basic w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel. Zagadnienie (16) i (13) rozwiązano metodą podziału i ograniczeń z wykorzystaniem narzędzia Solver.

Literatura

Berman O., Larson R., Chiu S.S. (1985) Optimal Server Location on a Network Operating as an M/G/1 Queue. *Operations Research,* **33**. 46 – 71.

Coullard C.R., Daskin M.S., Shen Z.J. (2002*),* An Inventory – Location Model: Formulation, Solution Algoritm and Computational Results. *Annals of Operation Research,* **110**, 83-106.

Coullard C.R., Daskin M.S., Shen Z.J. (2001) A Joint Location – Inventory Model. *Transportation Science* **37**, 1, 40-55.

Czachórski T. (1999) *Modele kolejkowe w ocenie efektywności sieci i systemów komputerowych.* Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice.

Czachórski T. (1984) Zadanie konserwatora - opis przy pomocy aproksymacji dyfuzyjnej. *Podstawy Sterowania,* **14**, 4, 301-328.

Daskin M.S. (2001) A New Approach to Solving the Vertex p-center Problem to Optimality: Algoritm and Computational Results. *Communication of the Operations Research Society of Japan*, **45**, 428-436.

Fisher M. L. (1985) An application oriented guide to Lagrangian relaxation. *Interfaces,* **15**, 2, 10-21.

Jakowska-Suwalska K. (2006a) Zagadnienie lokalizacji systemów masowej obsługi z wieloma klasami klientów. W: J. Stachowicz, A. Straszak, S. Walukiewicz, red., *Badania operacyjne i systemowe, Wiedza systemowa dla rozwoju regionów i przedsiębiorstw w Polsce*. Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa, 195-202.

Jakowska-Suwalska K. (2006b) Zagadnienie lokalizacji systemów masowej obsługi. W: T. Trzaskalik, red., *Modelowanie Preferencji a Ryzyko'06.* Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, 225-234.

Marianov V., ReVelle C.S. (1996) The queueing maximal availability location problem, A model for siting of emergency vehicles. *European Journal of Operational Research,* **93**, 12-120.

Ogryczak W., Zawadzki M. (2002) Conditional Center: A parametric Solution Concept for Location Problem. *Annals of Operation Research,* **110**, 167-181.

Ogryczak W. (2000) Wielokryterialne podejście do zagadnień lokalizacyjnych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka.* **131**, 11-120.

Owen S.H., Daskin M.S. (1998) Strategic facility location*, European Journal of Operational Research,* **111**, 423-447.

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