



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
METOD ILOŚCIOWYCH
I TECHNIK INFORMATYCZNYCH
WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY
DECYZYJNE**

Redakcja:

Jan Studziński
Ludostław Drelichowski
Olgierd Hryniewicz

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
METOD ILOŚCIOWYCH
I TECHNIK INFORMATYCZNYCH
WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY
DECYZYJNE**

Redakcja:

Jan Studziński

Ludosław Drelichowski

Olgierd Hryniewicz

Wydanie tej publikacji było możliwe dzięki pomocy finansowej
MINISTERSTWA NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO.

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju i zastosowań metod, modeli, technik i systemów informatycznych w procesach podejmowania decyzji. Kilka artykułów przedstawia rezultaty projektów badawczych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i realizowanych przez polskie instytucje badawcze.

Recenzenci:

Prof. Olgierd Hryniewicz

Prof. Andrzej Straszak

Dr hab. Jan Studziński

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych, Warszawa 2006

Wydawca: Instytut Badań Systemowych PAN
Newelska 6, PL 01-447 Warszawa

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw
e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl

ISBN 83-894-7506-5

9788389475060

ISSN 0208-8029



**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
METOD ILOŚCIOWYCH I TECHNIK
INFORMATYCZNYCH
WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY
DECYZYJNE**

Instytut Badań Systemowych • Polska Akademia Nauk
Seria: Badania Systemowe
Tom 49

Redaktor Naukowy:
Prof. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2006



METODA WIELOKRYTERIALNEJ ANALIZY DECYZYJNEJ (ELECTRE) W DOBORZE KADRY DYDAKTYCZNEJ

Jarosław WĄTRÓBSKI, Mateusz PIWOWARSKI

Wydział Informatyki, Politechnika Szczecińska

<jwatrobski@wi.ps.pl>

Streszczenie: *W artykule przedstawiono zastosowanie metody ELECTRE w doborze kadry dydaktycznej do realizacji poszczególnych przedmiotów w szkole wyższej. Przedstawiona procedura może stanowić mechanizm decyzyjny do zaimplementowania w informatycznym systemie (DSS) wspomagania planowania procesów dydaktycznych.*

Słowa kluczowe: Wielokryterialne wspomaganie decyzji, ELECTRE, jakość kadry dydaktycznej, DSS.

1. Wprowadzenie

Opracowanie atrakcyjnej sylwetki absolwenta szkoły wyższej jest związane z koniecznością przeprowadzenia szeregu analiz pod kątem doboru treści programowych kształcenia, kadry dydaktycznej, a także innych warunków realizacji procesu dydaktycznego. Złożoność tego procesu powoduje, iż podejścia heurystyczne nie dają rozwiązań „najlepszych” i należałoby szukać rozstrzygnięć w sformalizowanych metodach optymalizacyjnych. Propozycje rozwiązania tej problematyki można znaleźć np. w pracach Grzywaczewskiego (1997), czy też Piwowarskiego (2004). Jako narzędzie, które mogłoby usprawnić planowanie procesów dydaktycznych proponuje się informatyczny system klasy DSS, gdzie elementem decyzyjnym byłaby baza metod i modeli Turbana (1998). Jednym z kryteriów, jakie się pojawia w modelach optymalizacyjnych planowania procesów dydaktycznych jest kryterium jakości kształcenia. Ważnym składnikiem oceny tej jakości jest kadra dydaktyczna, która w znacznym stopniu wpływa na jakość wykonania procesu dydaktycznego. Problemem, który został zasygnalizowany w pracy – Piwowarskiego (2004) jest właśnie ocena oraz dobór kadry dydaktycznej do realizacji odpowiednich przedmiotów.

Celem artykułu jest przedstawienie podstaw metodycznych wyboru najkorzystniejszego rozwiązania związanego z doбором kadry dydaktycznej na potrzeby informatycznego systemu wspomagania planowania procesów dydaktycznych w instytucji akademickiej.

2. Formalizacja problemu decyzyjnego

Formalnie problem oceny jakości kadry dydaktycznej rozważyć można jako uporządkowaną trójkę:

$$P = \{S, V, L\} \quad (1)$$

gdzie:

S - zbiór kadry dydaktycznej,

V - zbiór punktów widzenia (zależnie od zbioru interwenientów procesu decyzyjnego),

L - typ problemu (określenie celu oceny).

Dla każdego l -tego problemu decyzyjnego rozważa się sytuację decyzyjną, gdzie skończony zbiór wariantów decyzyjnych (akcji) A poddany jest ocenie według n kryteriów g_1, g_2, \dots, g_n , tworzących rodzinę $G = \{1, 2, \dots, n\}$. Można założyć, bez utraty ogólności, że im większa jest wartość funkcji kryterium $g_i(a)$, tym lepszy jest wariant $a \in A$ na kryterium g_i , dla wszystkich $i \in G$. W tej sytuacji decydent, czy analityk systemowy, chce wyodrębnić minimalny zbiór wariantów decyzyjnych, lub skonstruować ich ranking od najlepszego do najgorszego, zgodnie z preferencjami.

Formalnie, w obrębie l -tego problemu decyzyjnego przyjęto następującą postać modelu wielokryterialnego wspomaganie decyzji - Guitouni (1998):

$$CM_l : \begin{cases} A = \{a_1, \dots, a_i, a_n\} \\ G = \{g_1, \dots, g_i, g_n\} \\ E = \{e_{ij} = g_j(a_i), i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n\} \\ M = \{p_j, v_j, \succ, u_j, \text{porównanie parami}, \dots; j = 1, \dots, n\} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

CM_l - l -ty wielokryterialny model wspomaganie decyzji,

A - zbiór alternatyw wyboru,

F/A - rodzina kryteriów,

e_{ij} - wartość i -tej alternatywy ze względu na j -ty atrybut,

E - rodzina ocen,

M - zbiór wszystkich informacji preferencyjnych (p_j, v_j - kolejno próg preferencji i próg weta związane z j -tym kryterium, \succ - binarna relacja przewyższania, u_j - wartość funkcji użyteczności dla j -tego atrybutu).

Podstawą przeprowadzenia obliczeń i podjęcia decyzji jest zgromadzenie odpowiednich danych wejściowych, które można pozyskać w kilku krokach: analizy realizowanych procesów, wyznaczeniu kryteriów oceny poszczególnych wariantów oraz sformułowaniu wariantów w oparciu o sformułowane kryteria oceny.

3. Metoda oceny kadry dydaktycznej

Po zrealizowaniu pierwszego kroku procedury postępowania przy doborze kadry dydaktycznej, należy zdefiniować wiązkę kryteriów oceniających. Dla niniejszego przykładu ustalono wiązkę 7 kryteriów, które pozwalają na opis procesu wyznaczania jakości z różnych punktów widzenia. Przy ocenie poszczególnych wariantów uwzględniono zarówno aspekt kosztowy jak również ocenę jakości oferty, związaną np. z dorobkiem naukowym, opinią przełożonego, czy też doświadczeniem dydaktycznym.

Kryteria oceny dla rozpatrywanych wariantów zawiera Tabela 1.

Tabela 1. Kryteria oceny kadry dydaktycznej.

Kryterium		Jednostka	Waga	Kierunek preferencji
g ₁	Ogólny dorobek naukowy	pkt	1	max
g ₂	Dorobek naukowy z zakresu prowadzonego przedmiotu	pkt	1	max
g ₃	Doświadczenie dydaktyczne	pkt	1	max
g ₄	Opinia przełożonego	pkt	1	max
g ₅	Koszty zatrudnienia pracownika	zł	1	min
g ₆	Doświadczenie praktyczne z zakresu prowadzonego przedmiotu	lata	1	max
g ₇	Średnie miesięczne koszty rozwoju naukowo-dydaktycznego pracownika	zł	1	min

Źródło: Opracowanie własne

W oparciu o ekspercką ocenę został skonstruowany zbiór 15 wariantów (oznaczonych A_1 - A_{15}), stanowiących konkurencyjne możliwości doboru kadry dydaktycznej do realizacji poszczególnych zajęć.

Na podstawie przeprowadzonej analizy metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, zdecydowano się na zastosowanie metody Electre, która pozwala na uszeregowanie skończonego zbioru wariantów (w tym przypadku 15), ocenianego za pomocą spójnej wiązki kryteriów (w tym przypadku 7). Metody z rodziny Electre należą do metod opartych o relację przewyższania (S). Podstawę teoretyczną stanowi aksjomat o ograniczonej porównywalności Roy (1991), który wprowadza do klasycznego systemu preferencji (równoważność I i preferencja P) dwie dodatkowe relacje binarne (słaba preferencja Q i nieporównywalność R). Formalnie tak powsta-

ły zbiór podstawowych relacji preferencyjnych ma postać - Roy (1991), Guitouni (1998):

$$\{I, P, Q, R\} \quad (3)$$

gdzie:

- I - relacja równoważności,
- P - relacja silnej preferencji,
- Q - relacja słabej preferencji,
- R - relacja nieporównywalności,

przy czym trzeba zaznaczyć, że Abi-Zeid (1998):

$$a S b \equiv a P b \vee a Q b \vee a I b \quad (4)$$

gdzie:

- S - relacja przewyższania.

Relacja przewyższania jest konstruowana w wyniku użycia dwóch testów sprawdzających zgodność - Bouyssou (1993). Test zgodności bada siłę koalicji kryteriów zgodnych z hipotezą, że $a S b$. Test niezgodności bada, czy pomiędzy kryteriami nie należącymi do zgodnej koalicji istnieje kryterium, dla którego przewaga relacji $b S a$ jest na tyle duża, że stanowi podstawę do odrzucenia hipotezy o przewyższaniu. Uzyskane wyniki są podstawą do konstrukcji tzw. grafu przewyższania.

Ważną zaletę metod opartych o relację przewyższania stanowi możliwość użycia pseudokryteriów - Kasprzak (1992). Wahanie się oceniających, jak również naturalne niedoprecyzowanie informacji preferencyjnej, są podstawą do wyposażenia kryteriów prawdziwych w tzw. progi. Zależnie od wersji metody Electre kryteria mogą mieć charakter kryteriów prawdziwych, prekryteriów, quasi-kryteriów, oraz pseudokryteriów - Roy (1996), Vincke (1992).

Definiując pseudokryteria wprowadza się następujące progi dla kryteriów:

$$q_i[g_i(a)] = \alpha_i^q * q_i(a) + \beta_i^q \quad (5)$$

$$p_i[g_i(a)] = \alpha_i^p * q_i(a) + \beta_i^p \quad (6)$$

gdzie:

$g_i(a)$ - wartość i -tego kryterium dla wariantu a ,

q_i - próg nierozróżnialności (wartość jaka musi wystąpić, aby można było rozróżnić dwa warianty) i -tego kryterium,

p_i - próg preferencji (wartość jaka musi wystąpić na kryterium, aby można było stwierdzić, że jeden wariant jest lepszy od drugiego) i -tego kryterium,

α_i^q - współczynnik proporcjonalności progu nierozróżnialności i -tego kryterium,

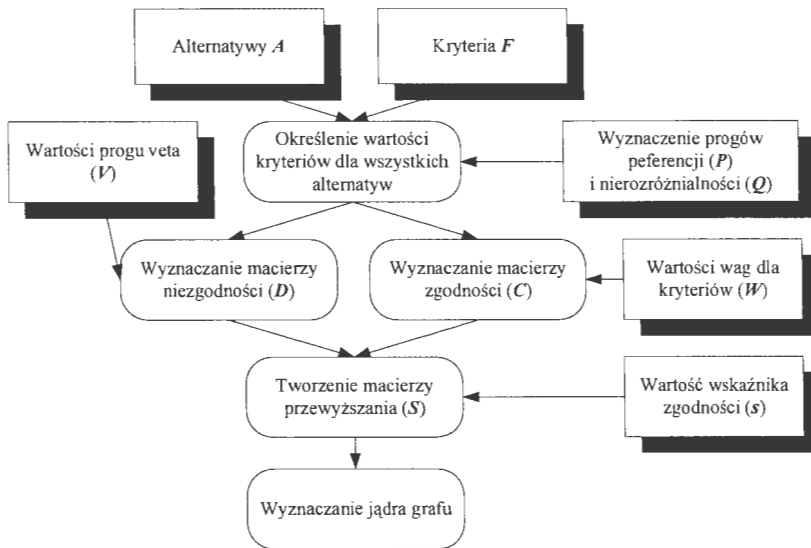
α_i^p - wsp. proporcjonalności progu preferencji i -tego kryterium,

β_i^q, β_i^p - wartości stałe.

Dodatkowo wykorzystywanym progiem jest próg *veta* (v_i), który pozwala minimalizować efekt liniowej kompensacji, przy czym stanowi on wartość, powyżej której przyjęcie hipotezy o przewyższaniu wariantu jest niemożliwe - Bouyssou (1993), Roy B. (1991). Tak zdefiniowane progi dodatkowo spełniają zależność:

$$q_i[g_i(a)] \leq p_i[g_i(a)] \leq v_i[g_i(a)] \quad (7)$$

Algorytm obliczeniowy metody Electre Is opiera się o konstrukcję dwóch testów (zgodności i niezgodności). Na ich podstawie konstruowana jest Tabela przewyższania. Szczegółowy przebieg algorytmu przedstawiono na Rysunku 1.



Rysunek 1. Algorytm obliczeniowy metody Electre Is (Roy, 1996).

Zadaniem testu zgodności jest badanie siły koalicji kryteriów zgodnych z hipotezą, że $a S b$. Test niezgodności bada, czy w obrębie kryteriów należących do koalicji istnieje kryterium, dla którego przewaga $b S a$ jest na tyle duża, że przeciwstawia się hipotezie o przewyższaniu - Bouyssou (1993). Przykładowo wyznaczenie globalnego współczynnika niezgodności odbywa się przy użyciu wzoru:

$$D_i(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } g_i(b) - g_i(a) \geq v_i[g_i(a)] - q_i[g_i(a)] - \frac{1 - C_i(a, b)}{1 - \delta}, \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (8)$$

gdzie:

- δ - współczynnik zgodności,
- $C_i(a,b)$ - globalny współczynnik zgodności,
- $D_i(a,b)$ - globalny współczynnik niezgodności.

Na podstawie wyznaczonych współczynników następuje konstrukcja testów zgodności i niezgodności (Roy, 1996). Testy przeprowadzane są dla każdej uporządkowanej pary wariantów (a,b) . Wyniki zapisywane są w tablicy przewyższania $S(a,b)$, zaś wartości wynoszą kolejno $S(a,b) = 1$, jeżeli $a S b$, $S(a,b) = 0$ w pozostałych przypadkach. Traktując tak powstałą macierz jako macierz incydencji grafu, można na jej podstawie skonstruować graf przewyższania S , stanowiący jednocześnie Globalny Model Preferencji Decydenta.

4. Wyznaczanie rankingu globalnego

Procedura obliczeniowa opiera się o skonstruowaną macierz ocen kryterialnych uwzględniającą wiązkę 7 kryteriów oceniających i zbiór 15 konkurencyjnych wariantów (Tabela 2).

Tabela 2. Macierz z wartościami ocen kryteriów dla rozpatrywanych wariantów.

Warianty	Kryterium						
	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆	g ₇
A ₁	68	29	71	69	10285	36	2332
A ₂	65	38	61	76	6795	36	2449
A ₃	63	42	64	52	5060	12	2682
A ₄	64	39	56	69	6000	12	2947
A ₅	65	37	55	74	10145	36	2688
A ₆	63	35	56	60	4330	24	2666
A ₇	56	60	44	58	4250	36	3176
A ₈	63	33	47	65	5050	24	2828
A ₉	56	55	40	59	3120	24	2910
A ₁₀	53	53	47	46	4200	24	2667
A ₁₁	51	36	53	63	7965	36	2875
A ₁₂	53	37	51	56	5515	12	2505
A ₁₃	54	49	44	53	7410	24	2950
A ₁₄	52	50	37	67	2880	24	2763
A ₁₅	57	39	36	64	3850	12	2749

Źródło: Obliczona własne

Algorytm obliczeniowy daje możliwość uwzględniania indywidualnych preferencji decydenta, poprzez określenie względnej istotności poszczególnych kryteriów oraz ustalenie wartości progów: preferencji (p_i), nierozróżnialności (q_i) i veta (v_i) - dla i -tego kryterium.

Obliczenia zostały przeprowadzone dla pięciu sytuacji decyzyjnych (modelowanie), gdzie były zmieniane wartości progów p_i , q_i , v_i , przy jednakowym współczynniku istotności kryteriów wynoszącym 1. Model preferencji decydenta dla poszczególnych etapów modelowania przedstawia Tabela 3.

Tabela 3. Indywidualne preferencje decydenta dla 5 kroków modelowania.

Kryterium	Etapy modelowania														
	Krok 1			Krok 2			Krok 3			Krok 4			Krok 5		
	p	q	v	p	q	v	p	q	v	p	q	v	p	q	v
g_1	0	0	0	10	2	0	10	3	0	10	3	15	10	5	15
g_2	0	0	0	10	1	0	10	3	0	10	3	15	10	6	15
g_3	0	0	0	20	3	0	20	7	0	20	7	35	20	10	35
g_4	0	0	0	10	5	0	10	7	0	10	7	15	10	8	15
g_5	0	0	0	300	100	0	300	200	0	300	200	1500	500	400	1500
g_6	0	0	0	6	3	0	12	6	0	12	6	24	24	12	36
g_7	0	0	0	400	200	0	400	300	0	400	300	1000	500	400	1000

Źródło: Obliczenia własne

Tabela 4. Warianty przewyższające dla 1 kroku modelowania.

Warianty przewyższające											
							∅	S	A1		
							A1	S	A2		
							A1	A2	S	A3	
							A1	A2	A5	S	A4
							A1	A2	S	A5	
					A1	A2	A4	A5	S	A6	
	A1	A2	A4	A5	A6	A8	A11	S	A7		
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	S	A8		
	A1	A2	A5	A6	A7	A8	A11	S	A9		
	A1	A2	A5	A6	A7	A8	A12	S	A10		
					A1	A2	A5	S	A11		
				A1	A2	A4	A5	S	A12		
A1	A2	A5	A6	A7	A8	A9	A11	S	A13		
	A1	A2	A5	A6	A7	A9	A10	S	A14		
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A8	A10	S	A15		

Źródło: Obliczenia własne

Dla kolejnych etapów modelowania zostały obliczone współczynniki zgodności dla każdej pary wariantów (a, b) oraz współczynniki niezgodności, uwzględniające te kryteria, dla których wariant b jest preferowany w stosunku do wariantu a . Ostatecznie wyznaczono globalny graf przewyższania, która w postaci tabelarycznej jest prezentowany w tablicy 4 i 5 (etap modelowania 1).

Tabela 5. Warianty przewyższane dla 1 kroku modelowania.

Warianty przewyższane														
A1	S	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A2	S	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
A3	S	A8	A15											
A4	S	A6	A7	A8	A12	A15								
A5	S	A4	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15		
A6	S	A7	A8	A9	A10	A13	A14	A15						
A7	S	A9	A10	A13	A14									
A8	S	A7	A9	A10	A13	A15								
A9	S	A13	A14											
A10	S	A14	A15											
A11	S	A7	A9	A13										
A12	S	A10												
A13	S	∅												
A14	S	∅												
A15	S	∅												

Źródło: Obliczona własne

5. Wnioski

Niniejszy artykuł obrazuje praktyczne zastosowanie wielokryterialnej metody wspomaganie decyzji ELECTRE w doborze kadry dydaktycznej do realizacji poszczególnych przedmiotów w szkole wyższej. Metoda ta umożliwiła stworzenie rankingu, który zawiera 15 alternatywnych propozycji rozwiązań. W tak uzyskanym rankingu decydent uzyskuje informacje na temat, na przykład równoważności niektórych wariantów, zdecydowanej przewagi jednego wariantu nad innym, czy też nieporównywalności rozpatrywanych wariantów.

Praktyczna weryfikacja zastosowania metody ELECTRE w aspekcie jakości kształcenia potwierdziła, iż może być ona wykorzystana jako mechanizm wspomagający podejmowanie decyzji w systemach informatycznych klasy DSS. Dobór kryteriów oceniających, ich wartości, czy innych zmiennych decyzyjnych dla każdego rozważanego przypadku może być różny.

Literatura

- Abi-Zeid I., Bélanger M., Guitouni A., Martel J.M. (1998) The criteria for an advisor tool in Canadian airspace violation situations. W: *Command and Control for the Next Millennium, Command and Control Research and Technology Symposium, 1998*.
- Bouyssou D., Roy B. (1993) Aide Multicritere a la decision: Methodes et Cas. Economica. Paris.
- Grzywaczewski M., Jastriebow A. (1997) Optymalizacja wielokryterialna modeli matematycznych struktur edukacyjnych. *XV Ogólnopolska Konferencja Polioptymalizacja i CAD, Mielno*.
- Piowowski M. (2004) *Metoda modelowania procesów dydaktycznych szkoły wyższej z wykorzystaniem optymalizacji wielokryterialnej*. Szczecin.
- Turban E., Aronson E. J. (1998) *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Roy B. (1991) The outranking approach and the foundations of Electre methods. *Theory and decision*, 31.
- Guitouni A., Martel J.M. (1998) Tentative guideline to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109.
- Kasprzak T. (1992) Systemy złożonych preferencji w decyzjach wielokryterialnych. W: *Systemy wspomagania decyzji wielokryterialnych*, red. T.Kasprzak, UW, Warszawa.
- Roy B. (1996) *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kulwer, New York.
- Vincke P. (1992) *Multicriteria Decision Aid*. John Wiley & Sons.

MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS METHOD (ELECTRE) IN SELECTION OF DIDACTIC PERSONNEL

Abstract: *The article presents a method (ELECTRE) for the selection of didactic personnel for the realization of the individual subjects in institutions of higher education. The proposed procedure can represent a decisive mechanism possible to implement in an information system (DSS) for the support of the planning of didactic processes.*

Keywords: multicriterial decision analysis, ELECTRE, quality of didactic personnel, DSS.

Jan Studziński, Ludosław Drelichowski, Olgierd Hryniewicz
(Redakcja)

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA METOD ILOŚCIOWYCH
I TECHNIK INFORMATYCZNYCH WSPOMAGAJĄCYCH
PROCESY DECYZYJNE**

Monografia zawiera wybór artykułów dotyczących informatyzacji procesów zarządzania, prezentując aktualny stan rozwoju informatyki stosowanej w Polsce i na świecie. Zamieszczone artykuły opisują metody, modele, techniki i systemy informatyczne stosowane do wspomaganie procesów podejmowania decyzji, a także omawiają zastosowania narzędzi informatycznych w różnych sektorach gospodarki. Kilka prac przedstawia wyniki projektów badawczych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, dotyczących rozwoju metod informatycznych i ich zastosowań.

ISBN 83-894-7506-5
9788389475060
ISSN 0208-8029

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl