ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: MECHANIKA z. 86 Nr kol. 1012

XI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TEORII MASZYN I MECHANIZMÓW

11th POLISH CONFERENCE ON THE THEORY OF MACHINES AND MECHANISMS

27—30. 04. 1987 ZAKOPANE

Ryszard KNOSALA, Witold PEDRYCZ
Politechnika Śląska, Gliwice

KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGAJĄCY PROCES OCENY ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawia się oryginalną metodę wielokryterialnej oceny i określania preferencji wariantów rozwiązań konstrukcyjnych. Omawia się szczegółowo sposoby oceny cząstkowej, których realizacja, w zależności od charakteru kryterium, daje wyniki w postaci deterministycznej, rozmytej i probabilistycznej. Przedstawia się sposób modelowania funkcji przynależności ocen rozmytych, a także koncepcje wyrażania w języku teorii zbiorów rozmytych ocen o charakterze deterministycznym i probabilistycznym. Proponuje się dwa sposoby modelowania ważności kryteriów w ujęciu rozmytym. Rozwiązuje się również zagadnienie agregacji ocen cząstkowych z uwzględnieniem rozmytych wag kryteriów. W zakończeniu omawia się sposoby interpretacji wyników agregacji, a szczególnie określenia porządku w zbiorze funkcji przynależności. W związku z tą interpretacją wprowadza się wskaźnik interakcji zbiorów rozmytych oraz wskaźnik precyzyjności informacji wejściowej. Rozważania metodologiczne wsparte są przykładem praktycznym, którego poszczególne etapy rozwiązania przedstawia się w pracy w sposób równoległy z dyskutowanymi zagadnieniami teoretycznymi. Proponowana metoda, oprogramowana w języku TURBO-PASCAL, jest realizowana na IBM/PC.

1. Wprowadzenie

Twierdzenie, że w procesie projektowania najczęściej występującym zagadnieniem jest ocena rozwiązań, określenie preferencji i wybór rozwiązania optymalnego nie wymaga dowodu. Znaczenie tych działań w całym procesie projektowo-konstrukcyjnym, a szczególnie w początkowych jego stadiach jest decydujące, co jest omawiane np. w pracy [1].

Znanych jest wiele różnych sposobów i metod rozwiązania zagadnienia oceny i wyboru, opisanych między innymi w pracach [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. (historia ich powstawania przedstawiona jest np. w [12]). Ich rozwój jest jednak niewspółmierny z rozwojem metod optymalizacji parametrycznej, których aparat formalny i sposoby obliczeń (numeryczne) są już dobrze opanowane. Istniejące metody oceny i wyboru bazują głównie na intuicji projektanta, nie mają więc dostatecznie rozwiniętego aparatu formalnego i na ogół nie wymagają komputerowego wspomagania.

Nowym jakościowo ujęciem tego problemu jest uwzględnienie różnego charakteru informacji w systemie wartościującym.

W najogólniejszym przypadku powinno się uwzględniać dane informacyjne o charakterze deterministyczno-rozmyto-probabilistycznym, występujące w jednym zadaniu oceny. W praktyce projektowej obok ocen wariantów w świetle kryteriów mających charakter sprecyzowany, ostry (np. koszt, wydajność, liczba elementów) występują oceny względem kryteriów o charakterze subiektywnym, rozmytym (np. wynikające z racji ergonomicznej) oraz oceny określone w języku probabilistyki (np. funkcje niezawodności). Bardzo często dane informacyjne, które powinno się ujmować deterministycznie lub probabilistycznie są określane również w sposób subiektywny, nieprecyzyjnie (np. kryterium niezawodności jako mierzalne przeważnie jest wyrażane w sposób rozmyty, np. lingwistycznie), gdyż albo czas niezbędny do ich określenia albo też koszt tej operacji nie pozwala na to w danej sytuacji projektowej. Tak więc obok danych informacyjnych, mających z natury charakter rozmyty, występują dane, które z podanych powodów również są ujmowane w sposób rozmyty.

Teoria zbiorów rozmytych bazuje na własnym aparacie formalnym i pozwala na reprezentację pojęć nieprecyzyjnych (np. lingwistycznych) w formie tzw. zbiorów rozmytych, które są uogólnieniem powszechnie znanego pojęcia zbioru. Ich uogólnienie, w porównaniu ze znanym pojęciem zbioru, polega na tym, że zbiór rozmyty pozwala na uwzględnienie stopnia częściowej przynależności elementów do zbioru; takiej możliwości nie daje teoria zbiorów. Zbiory rozmyte są opisywane za pomocą funkcji przynależności, tj. funkcji określonej na przestrzeni bazowej i przyjmującej wartości z przedziału $[0,1]$.

Przyjęty układ pracy pozwala na śledzenie proponowanej metodyki rozwiązywania zagadnień oceny i określania preferencji równolegle z jej przykładową implementacją. Przedstawione zostaną, w celach porównawczych, wyniki różnych sposobów rozwiązania tak całego zadania jak i poszczególnych jego stadiów. Rozważany problem praktyczny polega na uporządkowaniu zbioru wariantów rozwiązań konstrukcyjnych i określeniu relacji między nimi tak, aby można było na tej podstawie wybrać warianty najlepsze spośród tych, które spełniają dodatkowe wymagania.

2. Ocena wariantów w świetle poszczególnych kryteriów

2.1. Podstawy metodologiczne

Niech dany będzie zbiór wariantów V_i, $i=\overline{1,n}$ ocenianych w świetle określonych kryteriów K_j, $j=\overline{1,m}$ o różnym stopniu ważności. Kryteria te powinny spełniać warunek niezależności od siebie, tak aby można było określić wpływ każdego z nich oddzielnie. Oznacza to, że zmiana wartości jednego kryterium nie powinna mieć wpływu na wartości innych kryteriów. Warunek ten w praktyce trudno jest w pełni zachować i dlatego mówi się raczej o "wymaganej niezależności" (por. [7]).

Niech oceny cząstkowe wariantów B_{ij} (i-tego wariantu w świetle j-tego kryterium) będą dane, w zależności od charakteru kryterium, w postaci deterministycznej, rozmytej i probabilistycznej. Oznaczono je odpowiednio przez B^d_{ij}, B^r_{ij} i B^p_{ij}, przy czym indeks "j" należy do zbioru J_d, J_r lub J_p, gdzie J_d, J_r, J_p określają odpowiednio zbiory indeksów kryteriów o charakterze deterministycznym, rozmytym i probabilistycznym.

Deterministyczne oceny cząstkowe B^d_{ij} określane są najczęściej w różnych wymiarach w zależności od kryterium i przyjętej skali wartości (np. jednostki fizyczne, liczba, % itp.). Wartości ocen cząstkowych muszą być przetransformowane według odpowiedniej funkcji, najlepiej w przestrzeń liczb z przedziału $[0,1]$. Nie istnieją jednak ogólnie obowiązujące reguły określania funkcji transformujących, które mocno zależą od rozważanego problemu. Są one ustalane przez ekspertów na bazie ich własnego doświadczenia i danych literaturowych, co powoduje, że nie można tych funkcji w pełni obiektywnie określić. Dużą rolę odgrywa graficzna forma ich przedstawienia, która czyni je bardziej przejrzystymi (por. [7]).

Rozmyte oceny cząstkowe B^r_{ij} modelowane są za pomocą funkcji przynależności $B^r_{ij} : [0,1] \to [0,1]$. Zakłada się, że funkcje przynależności będą wyznaczane przez ekspertów z wykorzystaniem sposobu podanego przez Saaty'ego [13]. Oceny wszystkich wariantów dokonuje się oddzielnie względem poszczególnych kryteriów. Warianty oceniane są parami. Każdej parze V_i, V_j przypisuje się liczbę z ustalonego zbioru ocen (zazwyczaj w 7 ± 2 stopniowej skali), która odzwierciedla względną preferencję i-tego wariantu w stosunku do j-tego. Im V_i jest bardziej preferowany w stosunku V_j tym wyższą wartość przyjmuje ta ocena. W skrajnym przypadku, gdy V_i jest w pełni preferowany względem V_j, liczba ta jest równa najwyższemu stopniowi w przyjętej skali. Wyniki zebrane są w macierzy:

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix} \qquad \text{gdzie:} \quad u_{ii} = 1, \quad u_{ij} = \frac{1}{u_{ji}}$$

W pracy [13] wykazano, że odpowiedni wektor ocen cząstkowych $\underline{v}$ dla ustalonego kryterium otrzymywany jest w wyniku znalezienia wektora własnego, odpowiadającego największej wartości własnej macierzy U.

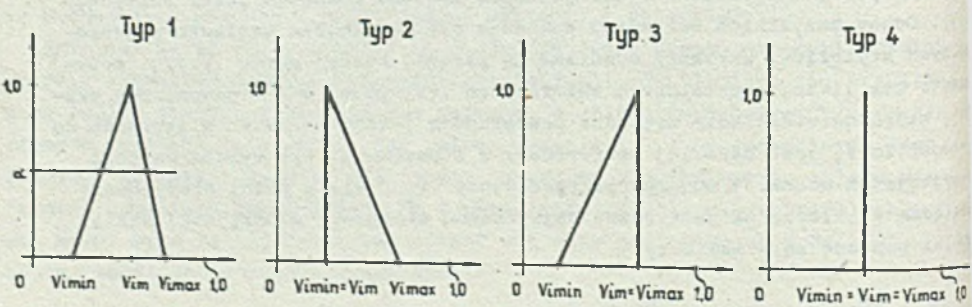
Ze względu na niepewność związaną z jednoznacznym ustaleniem ocen u_{ij} proponuje się stosowanie ocen przybliżonych $\underset{\sim}{u}_{ij}$, które wyrażone są zbiorem rozmytym o trójkątnej funkcji przynależności (α, m, β) [14], gdzie: m jest wartością modalną, zaś α i β dolną i górną oceną. Takie określenie ocen jest absolutnie konieczne w razie kiedy oceny będzie dokonywał tylko jeden ekspert (co jest przypadkiem niezalecanym). Jeśli wystąpi dwóch lub więcej ekspertów, zaleca się podawać wtedy jedynie dolną $\underline{u}_{ij}$ i górną ocenę $\bar{u}_{ij}$.

W wyniku obliczenia macierzy wypełnionych przez ekspertów według podanego wyżej sposobu otrzymuje się:

$$v_{ijmin} = \min_{k} v_{ij}(k), \quad v_{ijmax} = \max_{k} v_{ij}(k), \quad v_{ijmodal} = \sum_{k=1}^{K} v_{ij}(k)/K$$

gdzie: $k = \overline{1,K}$ - indeks wartości współrzędnej wektora ocen cząstkowych określający eksperta.

Na podstawie otrzymanych wielkości tworzy się funkcje przynależności o postaci trójkątnej, których możliwe formy przedstawia rys. 1. Typ formy nr 4 jest szczególnym przypadkiem, kiedy oceny wszystkich ekspertów danego wariantu "i" w świetle określonego kryterium "j" pokryją się, czego efektem jest identyczność wartości $v_{ijmin} = v_{ijmax} = v_{ijmodal}$. Przypadek ten w praktyce wystąpi niezmiernie rzadko.



Rys. 1

Przy większej liczbie ocenianych wariantów wartości v_{ij} są odpowiednio małe (ich suma zawsze daje 1), co powoduje, że niezbędna jest normalizacja tych wartości zgodnie z zależnością:

$$^{n}v_{ij}(k) = \frac{v_{ij}(k)}{\max\limits_{i,k} v_{ij}(k)}$$

Cząstkowe oceny ujęte deterministycznie B^{d}_{ij} są traktowane w przyjętym modelu formalnym jako szczególny przypadek ujęcia rozmytego.

Można wyróżnić dwa sposoby postępowania przy ich wystąpieniu:

- normalizacja elementów B^{d}_{ij} dająca funkcje przynależności typu 4 na rys.1:

$$^{n}B^{d}_{ij} = \frac{B^{d}_{ij} - \min\limits_{i} B^{d}_{ij}}{\max\limits_{i} B^{d}_{ij} - \min\limits_{i} B^{d}_{ij}}$$

- określenie przez ekspertów funkcji transformujących, które w zależności od stopnia zróżnicowania będą podstawą utworzenia jednej z form funkcji przynależności na rys. 1. Każdy z ekspertów, w razie dużej niepewności, powinien określić dla każdego z kryteriów dwie graniczne funkcje transformujące, dające dwie różne wielkości z przedziału $[0,1]$ dla jednej oceny cząstkowej B^{d}_{ij}. Otrzymane wielkości poddane są normalizacji wg zależności:

$$^{n}b_{ij}(k) = \frac{b_{ij}(k)}{\max\limits_{i,k} b_{ij}(k)}, \quad k = \overline{1,K}.$$

W celu uzyskania oceny globalnej i-tego wariantu należy przede wszystkim doprowadzić do jednorodnej reprezentacji czynnika nieprecyzyjności, tj. np. wyrażonego tylko w języku zbiorów rozmytych lub tylko rachunku prawdopodobieństwa.

Ponieważ na ogół oceny cząstkowe o charakterze probabilistycznym są trudno dostępne i w ogóle występują rzadziej w praktyce konstrukcyjnej, istnieją więc podstawy aby dokonać transformacji mniej licznych ocen probabilistycznych B^{p}_{ij} na oceny rozmyte, np. według sposobu zaproponowanego w pracy [15], i dalej stosować właściwy dla nich aparat formalny. Przyjęty sposób postępowania ma tym bardziej uzasadnienie, ponieważ oceny o charakterze deterministycznym również wyrażone są w języku teorii zbiorów rozmytych.

W pracy [15] zaproponowano odwzorowanie funkcji prawdopodobieństwa na funkcję przynależności i na odwrót. Niech dany jest ciąg wartości funkcji prawdopodobieństwa $p_1 \geqslant p_2 \geqslant \ldots \geqslant p_n$ $(\sum\limits_{i=1}^{n} p_i = 1)$. Wtedy funkcje przynależności o wartościach $\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n$ wyznaczone są zgodnie z zależnością:

$$\begin{cases} \mu_i = 1 - \sum\limits_{j=1}^{i-1} (p_j - p_i), & i > 1 \\ \mu_1 = 1 \end{cases}$$

Mając natomiast funkcje przynależności $\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n$ odpowiednie prawdopodobieństwa wynoszą:

$$p_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{j} (\mu_j - \mu_{j+1}), \quad i = \overline{1,n}, \text{ przyjmując } \mu_{n+1} = 0$$

W pracy [16] dyskutowana jest metoda wyznaczania funkcji przynależności A(x) dla przypadku ciągłego, mając do dyspozycji funkcję gęstości prawdopodobieństwa p(x). A(x) otrzymana jest w wyniku rozwiązania następującego zadania optymalizacji:

$$\min_{A(x)} \int_{-\infty}^{+\infty} A^2(x)\,dx$$

przy ograniczeniach

$$c - \int_{-\infty}^{+\infty} A(x)p(x)\,dx \leqslant 0, \quad c < 1$$

$$\forall_{x \in R} \; A(x) \in [0,1]$$

2.2. Przykład praktyczny

Zadanie polega na tym, że ze zbioru 19 wariantów rozwiązań konstrukcyjnych połączenia tłoka z tłoczyskiem siłownika hydraulicznego, jak na rys. należy dokonać wyboru typowych postaci konstrukcyjnych połączenia w świetle następujących kryteriów, podzielonych na dwie grupy:

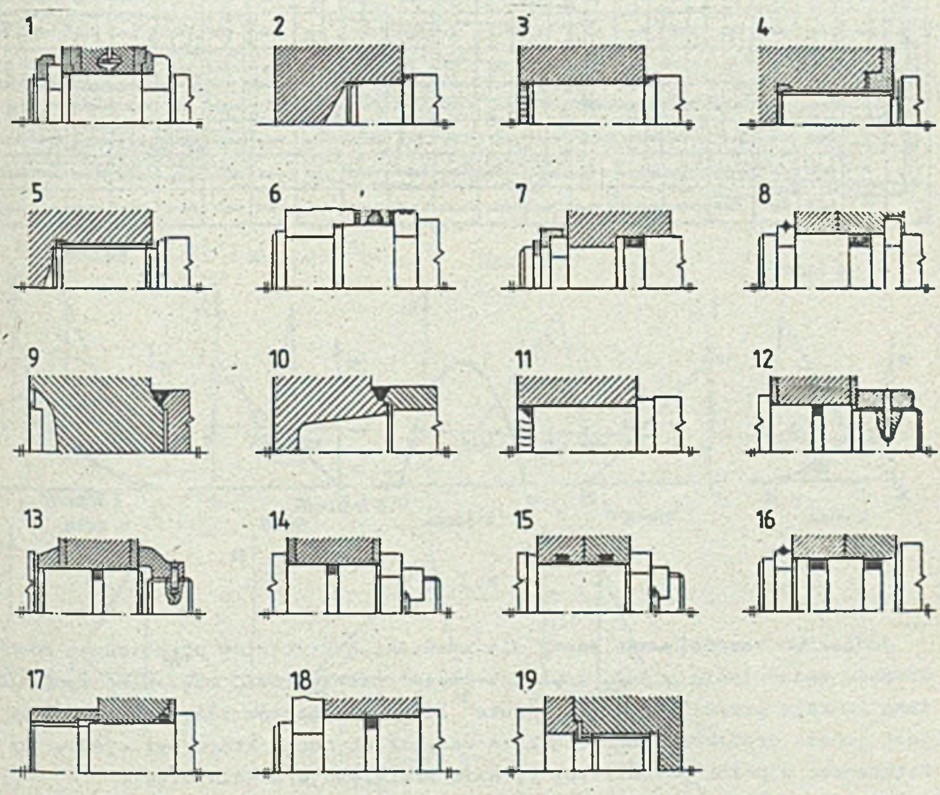
I. Wymagania

1) rozbieralność złącza,
2) płynna zmiana prędkości tłoka w skrajnych położeniach,
3) minimalna długość części biernej tłoka,
4) połączenie tłoka z drągiem rurowym,

5) uwzględnienie wielkości różnicy między średnicą cylindra, a średnicą drąga jako mniejszej od dwu grubości uszczelnienia.

II. Życzenia

1) niezawodność działania,
2) łatwość wytworzenia,
3) liczba elementów złącza,
4) współosiowość tłoka i cylindra.

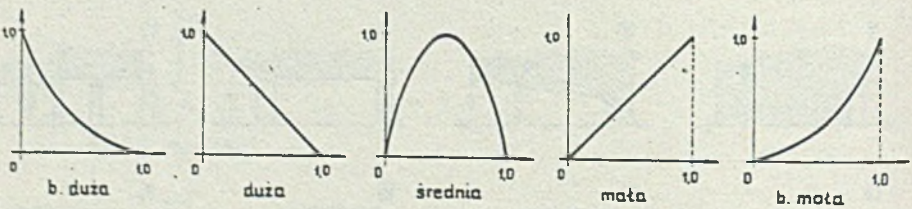


Rys. 2

W pierwszej kolejności należy określić stopień preferencji wariantów w świetle kryteriów-życzeń, a następnie dokonać wyboru najlepszych wariantów, które spełniłyby każde kryterium-wymaganie przynajmniej raz. Najistotniejszym problemem jest dokonanie oceny wariantów w świetle kryteriów-życzeń. Jednym ze sposobów jest ocena lingwistyczna. W tablicy 1 przedstawiono taką ocenę,wykorzystując następującą skalę ocen: bardzo duża, duża, średnia, mała, bardzo mała. Oceny lingwistyczne mogą zostać zamodelowane w postaci funkcji przynależności, np. jak na rys. 3 lub też mogą być zastąpione przez subiektywnie dobrane oceny punktowe z ustalonej skali punktowej, jak np. bardzo duża - 5, duża - 4, średnia - 3, mała - 2, bardzo mała - 1.

Tablica 1

Kryteria		Warianty rozwiązania konstrukcyjnego																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Wymagania	1	tak	nie	nie	tak	tak	tak	tak	tak	nie	nie	nie	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak
	2	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	nie	nie	nie
	3	nie	tak	tak	tak	tak	tak	nie	nie	tak	tak	tak	nie	nie	nie	nie	nie	nie	tak	tak
	4	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie
	5	tak	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie	nie
Życzenia	1	b. mała	duża	b. duża	duża	średnia	b. duża	b. mała	mała	b. duża	b. duża	duża	średnia	duża	duża	duża	mała	średnia	mała	duża
	2	mała	duża	duża	średnia	średnia	b. duża	b. mała	mała	duża	duża	duża	mała	mała	średnia	średnia	mała	średnia	średnia	średnia
	3	duża	mała	mała	średnia	średnia	mała	b. duża	duża	mała	mała	mała	duża	duża	duża	duża	b. duża	średnia	średnia	średnia
	4	duża	duża	duża	średnia	średnia	b. duża	b. mała	mała	b. duża	b. duża	b. duża	mała	mała	mała	mała	mała	mała	mała	średnia



Rys. 3

Jednakowo zamodelowane oceny dla wszystkich kryteriów upraszczają zdecydowanie zagadnienie oceny, gdyż np. "duża" niezawodność musi mieć zupełnie inną funkcję przynależność niż "duża" liczba elementów złącza. Niemożliwe jest jednak graficzne zamodelowanie wszystkich ocen, które bez ujęcia analitycznego w pełni pozwoliłyby wyrazić preferencję oceniającego.

Preferencję tę pozwala wyrazić pełniej metoda Saaty'ego. W tablicy 2 przedstawiono oceny części wariantów (parami) względem kryterium niezawodności działania zaproponowane przez 3 ekspertów przy założonej 9 stopniowej skali ocen. Po komputerowym przetworzeniu tych ocen uzyskano trójkątne funkcje przynależności, tj. funkcje przynależności o narastającym i opadającym zboczu liniowym, które dla 7 wariantów przedstawiono na rys. 4 (wszystkie typu 1). Największą wartość osiągnął wariant 6 w ocenie eksperta nr 2 (6 funkcja przynależności na rys. 4) i względem tej też wartości dokonano normalizacji wszystkich wartości związanych z kryterium niezawodności.

Tablica 2

Ocena wariantów w świetle kryterium niezawodności działania

Ekspert nr 1

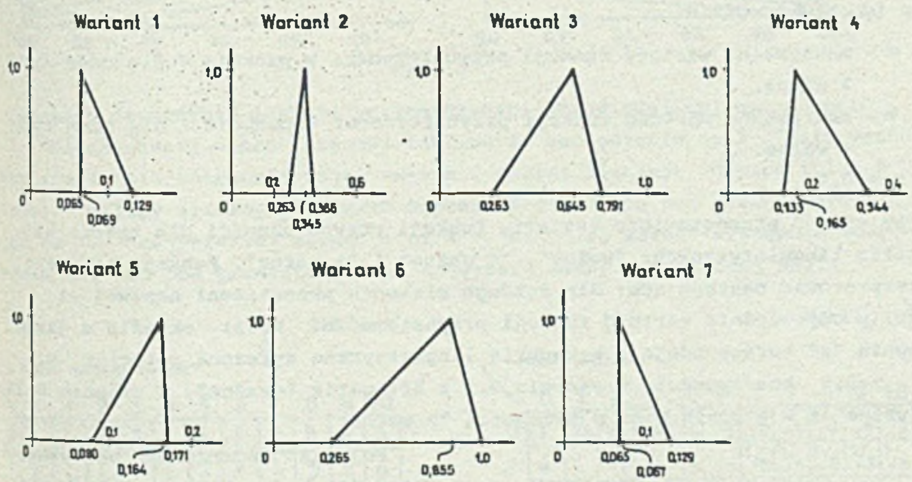
Wariant	1	2	3	4	5	6	7	...
1	1	1/5	1/9	1/7	1/5	1/9	1	
2	5	1	1/2	1	2	1/3	7	
3	9	2	1	2	4	1	9	
4	7	1	1/2	1	2	1/3	7	
5	5	1/2	1/4	1/2	1	1/5	5	
6	9	3	1	3	5	1	9	
7	1	1/7	1/9	1/7	1/5	1/9	1	

Ekspert nr 2

	1	2	3	4	5	6	7	...
1	1	1/7	1/8	1/5	1/5	1/9	1	
2	7	1	1/2	3	3	1/3	7	
3	8	2	1	4	4	1/2	8	
4	5	1/3	1/4	1	1	1/5	5	
5	5	1/3	1/4	1	1	1/5	5	
6	9	3	2	5	5	1	9	
7	1	1/7	1/8	1/5	1/5	1/9	1	

Ekspert nr 3

	1	2	3	4	5	6	7	...
1	1	1/3	1/3	1	2	1/3	1	
2	3	1	1	2	5	1	3	
3	3	1	1	2	5	1	3	
4	1	1/2	1/2	1	2	1/3	1	
5	1/2	1/5	1/5	1/2	1	1/5	1/3	
6	3	1	1	3	5	1	3	
7	1	1/3	1/3	1.	3	1/3	1	



Rys. 4

3. Sposoby określania ważności kryteriów

3.1. Podstawy metodologiczne

Wagi kryteriów mogą mieć charakter ostry lub rozmyty. Sposoby określania ważności kryteriów, które prowadzą do ich ujęcia deterministycznego (ostrego) znane są z literatury (np. por. [4]).

Wagi kryteriów w ujęciu rozmytym wyrażane są zbiorem rozmytym o funkcji przynależności $W_j : [0,1] \rightarrow [0,1]$, $j = \overline{1,m}$.

Pierwszy ze sposobów określania funkcji przynależności wag kryteriów polega na zastosowaniu metody Saaty'ego (zamiast wariantów ocenia się ważności kryteriów parami), a następnie przyjęciu trójkątnej jej postaci, analogicznie jak to przedstawiono w punkcie 2.1. Różnica polega jedynie na przyjęciu innej podstawy normalizacji: maksymalnej wielkości ze wszystkich otrzymanych z obliczeń macierzy wypełnionych przez poszczególnych ekspertów.

Drugi ze sposobów modelowania funkcji przynależności ma również podstawę w metodzie Saaty'ego, jednak zasada tworzenia macierzy jest inna. W pierwszym kroku dokonuje się wyboru tego spośród kryteriów, które uważane jest za ważne i względem którego będą następnie oceniane wszystkie kryteria bardziej i mniej ważne. Dwóm kryteriom, np. ważnemu i bardzo ważnemu przyporządkowuje się różne wartości liczb o kroku 0,1 z przedziału $[0,1]$, które stanowią różne stopnie spełnienia tych kryteriów. Jeśli względna różnica pomiędzy tymi ważnościami kryteriów, z uwzględnieniem określonych stopni ich spełnienia jest duża, to względna ocena ważności dla tych stopni jest również duża (i odwrotnie). Zgodnie z metodą Saaty'ego przyjmuje się, że na przekątnej występują 1, a inwersja liczb w parze wyrażających stopnie spełnienia daje odwrotność oceny.

Pojęcie "ważne" zamodelowano funkcją przynależności o kształcie trójkątnym (α, m, β), gdzie:

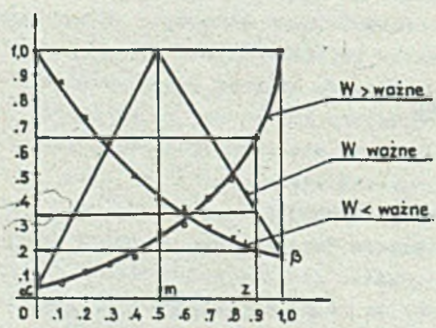
α - maksymalna wartość funkcji przynależności w punkcie 0 dla ocen typu > ważne,

β - maksymalna wartość funkcji przynależności w punkcie 1 dla ocen typu < ważne,

$m = 0,5$.

Na rys. 5 przedstawiono kształty funkcji przynależności dla trzech kategorii lingwistycznych: "ważne", "< ważne" i "> ważne". Funkcje te można interpretować następująco: dla każdego elementu przestrzeni bazowej z $z \in [0,1]$ odpowiednia wartość funkcji przynależności $W_l(z)$ określa w jakim stopniu "z" koresponduje z kategorią lingwistyczną wyrażoną pojęciem W_l. Np. $z=0,9$ koresponduje w stopniu 0,2 z kategorią "<ważne", w stopniu 0,34 z "ważne" i w stopniu 0,65 z kategorią "> ważne".

Pojęcia lingwistyczne określające ważności kryteriów mogą być modelowane przez ekspertów każdorazowo oddzielnie w zależności od przedmiotu oceny. W celu skrócenia procedury określania funkcji przynależności zamodelowano 7 różnych kategorii lingwistycznych określających wagi poszczególnych kryteriów (liczba ta wystarczy dla większości zadań oceny w procesie konstruowania).

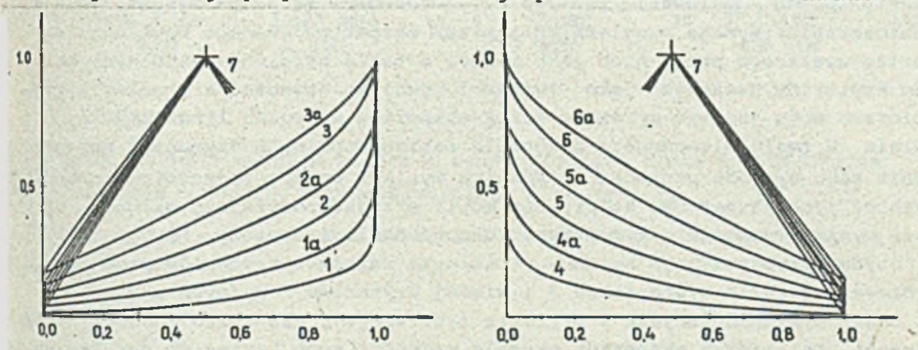


Rys. 5

Są to następujące pojęcia:

1. najbardziej ważne
2. bardzo ważne
3. nieco więcej ważne
4. najmniej ważne
5. mało ważne
6. nieco mniej ważne
7. ważne

Seria testów doświadczalnych pozwoliła zamodelować te pojęcia w postaci wzorcowych funkcji przynależności przedstawionych i odpowiednio oznaczonych na rys. 6. W celu zwiększenia dokładności modelowania zaproponowano, obok zasadniczych funkcji przynależności funkcje pomocnicze oznaczone indeksem "a".



Rys. 6

Podstawę utworzenia funkcji przynależności odpowiadającej np. pojęciu nr 3 - "nieco więcej ważne" stanowi tablica 3, zaś pojęciu nr 5 - "mało ważne" - tablica 4. Dla kategorii pojęć >ważne i <ważne istnieje różnica tylko w układzie tablicy (liczby całkowite odpowiednio nad lub pod przekątną). Dla pojęć nr 1 - "najbardziej ważne" i nr 4 - "najmniej ważne" występują (odpowiednio nad lub pod przekątną) same najwyższe oceny w przyjętej skali.

Tablica 3

nieco więcej ważne

ważne	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
0	1	1	2	3	4	4	5	5	6	6	6
.1	1	1	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.2	1/2	1	1	1	1	2	3	4	4	5	5
.3	1/3	1	1	1	1	1	2	3	4	4	5
.4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	2	3	4	4
.5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	2	3	3
.6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	2	3
.7	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1	2
.8	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1	1
.9	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1
1.0	1/6	1/6	1/5	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1	1	1

Tablica 4

mało ważne

ważne	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
0	1	1/4	1/4	1/5	1/5	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
.1	4	1	1/4	1/4	1/5	1/5	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
.2	4	4	1	1/3	1/4	1/4	1/5	1/5	1/6	1/6	1/6
.3	5	4	3	1	1/3	1/3	1/4	1/5	1/5	1/6	1/6
.4	5	5	4	3	1	1/3	1/3	1/4	1/5	1/5	1/5
.5	6	5	4	3	3	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/5
.6	6	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/4
.7	6	6	5	5	4	3	2	1	1	1/2	1/3
.8	6	6	6	5	5	4	3	1	1	1	1/2
.9	6	6	6	6	5	5	4	2	1	1	1
1.0	6	6	6	6	5	5	4	3	2	1	1

Wyniki obliczeń przeprowadzonych na podstawie danych zawartych w macierzy mogą też być przedstawione w postaci analitycznej wynikłej z ich aproksymacji. Rozwiązując odpowiednie zadanie aproksymacji średniokwadratowej otrzymano funkcję przynależności o następującej postaci:

$$y = 2 - e^{a(1-x)^k}$$

gdzie: a i k dobrane są tak aby osiągnąć minimum wskaźnika średniokwadratowego; przykładowo dla wagi nr 3 - "nieco więcej ważne" otrzymano a = 0,630 k = 0,4120.
Podany sposób modelowania funkcji przynależności ma pewne ograniczenia w zastosowaniu: wymaga uwzględnienia przez ekspertów jednego wspólnego kryterium uważanego przez nich jako ważne, a także ustalenia wspólnych zbiorów kryteriów uważanych jako >ważne i <ważne. Ważności kryteriów w tych zbiorach mogą już być wyrażane przez ekspertów w sposób lingwistyczny dowolnie. W razie niemożności dokonania takich wspólnych uzgodnień zastosowanie tego sposobu prowadzi do różnych wyników oceny, szczególnie pochodzących od tych ekspertów, którzy nie mogli przyjąć powyższego warunku; otrzymane wyniki wymagają w tym przypadku porównania i syntezy.

Obydwa przedstawione sposoby określania ważności kryteriów mogą być zastosowane w razie wystąpienia 3 i więcej kryteriów o różnych wagach.

Jeśli wystąpią jedynie 2 kryteria (lub więcej, ale tylko o dwóch różnych wagach), to każdy z ekspertów określa ważności tych kryteriów podając dolną i górną granicę oceny punktowej z przyjętego przedziału liczbowego $[0,1]$. Na tej podstawie tworzone są dwie funkcje przynależności o postaci trójkątnej (α_j, m_j, β_j), j=1,2, gdzie α_j, β_j - brzegowe wielkości określone przez ekspertów, m_j - wielkość średnia z pozostałych wartości. Wszystkie te wartości są normalizowane względem wartości maksymalnej.

3.2. Przykład praktyczny

Ważności kryteriów-życzeń, przyjętych w punkcie 2.2, określono obydwoma opisanymi wyżej sposobami.

Sposób pierwszy:

W tablicy 5 przedstawione są macierze ocen porównywanych parami ważności kryteriów, a na rys. 7 wyniki obliczeń tych macierzy (wartości zostały znormalizowane) w postaci 4 funkcji przynależności, odpowiadających w kolejności przyjętym kryteriom.

Tablica 5

Kryteria	1	2	3	4
1	1	2-4	5-7	6-7
2	$\frac{1}{2}-\frac{1}{4}$	1	2-3	2-3
3	$\frac{1}{5}-\frac{1}{7}$	$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$	1	1-2
4	$\frac{1}{6}-\frac{1}{7}$	$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$	$1-\frac{1}{2}$	1

	1	2	3	4
1	1	1-3	4-6	6-7
2	$1-\frac{1}{3}$	1	3-4	2-3
3	$\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}-\frac{1}{4}$	1	1-2
4	$\frac{1}{6}-\frac{1}{7}$	$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$	$1-\frac{1}{2}$	1

	1	2	3	4
1	1	2-3	4-6	4-6
2	$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$	1	2-3	2-3
3	$\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$	1	1
4	$\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$	1	1

Sposób drugi:

Eksperci uznali wspólnie:

- kryterium łatwości wytworzenia jako ważne,
- kryterium niezawodności działania za najbardziej ważne (funkcja przynależności nr 1a na rys. 6),

Rys. 7

kryterium liczby elementów złącza i współosiowości tłoka i cylindra za najmniej ważne (funkcja przynależności nr 4 na rys. 6).

Należy zauważyć, że ważności kryteriów określone sposobem pierwszym i drugim nie są sprzeczne ze sobą.

4. Agregacja ocen cząstkowych

4.1. Podstawy metodologiczne

Agregacja ocen cząstkowych uzyskanych względem poszczególnych kryteriów (pkt 2) wraz z uwzględnieniem ważności tych kryteriów (pkt 3) może być wyrażona dla i-tego wariantu następująco [17, 18]:

$$Z_i = F(B_{i1}, B_{i2}, \ldots, B_{im}, W_1, W_2, \ldots, W_m), \quad i = \overline{1,n}$$

gdzie:

Z_i - zbiór rozmyty określony w przedziale $[0,1]$,

F - funkcja agregująca, np. w szczególnym przypadku liniowa.

Funkcja przynależności Z_i, zgodnie z zasadą rozszerzenia [19], dana jest zależnością:

$$Z_i(z) = \sup\left[\min(B_{i1}(b_1), B_{i2}(b_2), \ldots, B_{im}(b_m), W_1(w_1), W_2(w_2), \ldots, W_m(w_m))\right]$$

gdzie: supremum brane jest po wszystkich elementach przedziału $[0,1]$ $b_1, b_2, \ldots, b_m, w_1, w_2, \ldots, w_m$ takich, że spełniona jest zależność:

$$z = F(b_1, b_2, \ldots, b_m \quad {}_1, w_2, \ldots, w_m)$$

W razie przyjęcia ograniczeń liniowych, tj. addytywnej funkcji agregującej supremum wyznaczane jest zgodnie z zależnością [17]:

$$z = \sum_{j=1}^{m} b_j w_j / \sum_{j=1}^{m} w_j ,$$

gdzie: $z, b_j, w_j \in [0,1]$.

Przyjęcie liniowej funkcji agregującej jest w pewnym sensie arbitraln i ograniczające. Przy braku jednak wyraźnie sformułowanych wymogów co dc jej charakteru, w literaturze [20] sugeruje się przyjęcie założenia lini wości tej funkcji. Wynika to między innymi z faktu, że funkcja ta może b traktowana jako średnia ważona poszczególnych ocen cząstkowych z wagami dącymi stopniami ważności poszczególnych kryteriów.

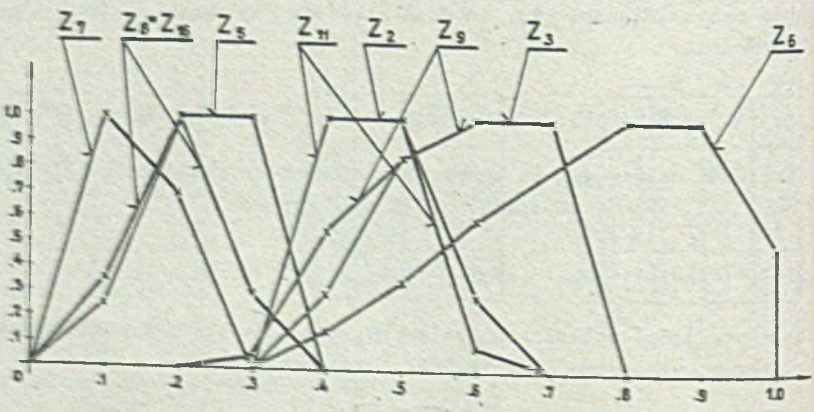
Rozwiązanie powyższego zadania optymalizacji można znaleźć w pracy [1 gdzie zaproponowana metoda bazuje na wykorzystaniu α-obcięć zbiorów rozm tych, co prowadzi do wyrażanego zmniejszenia ilości obliczeń.

Niezależnie od formy funkcji agregującej F wynikiem tego stadium pr twarzania ocen rozmytych są zbiory rozmyte $Z_1, Z_2, ..., Z_n$ opisujące pref rencje poszczególnych wariantów.

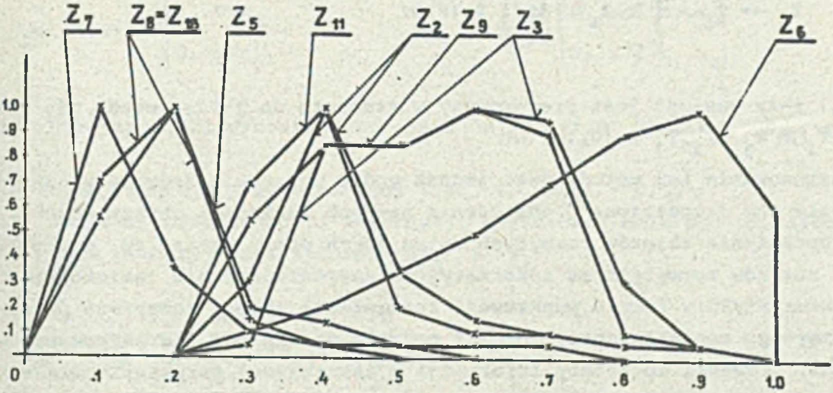
Do interesujących innych sposobów agregacji ocen należy zastosowanie miary monotonicznej i całki rozmytej [21].

4.2. Przykład praktyczny

Określone w punkcie 2.2 funkcje przynależności poszczególnych wariant w świetle przyjętych 4 kryteriów-życzeń są agregowane z funkcjami przyna leżności określającymi ważności tych kryteriów, które zostały zamodelowa w punkcie 3.2. W zależności od przyjętego sposobu określania funkcji prz należności wag kryteriów otrzymano wyniki agregacji w postaci funkcji pr należności $Z_1, Z_2, ..., Z_{19}$, opisujących względne preferencje poszczególn wariantów. Na rys. 8 przedstawiono dla przykładu część tych funkcji przy leżności z uwzględnieniem sposobu pierwszego (pkt 3.2), a na rys. 9 z uwzględnieniem sposobu drugiego.



Rys. 8



Rys. 9

5. Interpretacja wyników

5.1. Założenia formalne

Interpretacja otrzymanych w procesie agregacji wyników związana jest z analizą wartości funkcji przynależności. Każdy ze zbiorów Z_i, $i = \overline{1,n}$ określony jest na odcinku $[0,1]$, a wartość $Z_i(z)$ określa w jakim stopniu wielkość z jest zgodna z oceną i-tego wariantu traktowanego jako najbardziej preferowany.

Graniczne przypadki (tzw. zdegenerowane):

$$Z_i(z) = \begin{cases} 1, & \text{dla } z=1 \\ 0, & \text{dla } z \neq 1 \end{cases} \qquad Z_i(z) = \begin{cases} 1, & z=0 \\ 0, & z \neq 0 \end{cases}$$

oznaczają, że i-ty wariant jest w pełni preferowany przyjmując najwyższą wartość w skali $[0,1]$ ze stopniem 1,0 lub, że jest najmniej preferowany przyjmując najniższą wartość równą 0 ze stopniem równie 1,0.

W celu formalnego określenia stopni preferencji poszczególnych wariantów konieczne jest uporządkowanie zbiorów rozmytych $Z_1 Z_2, \ldots, Z_n$ zgodnie z przyjętą relacją preferencji "$\prec$", gdzie $Z_i \prec Z_j$ oznacza, że i-ty wariant jest preferowany w stosunku do j-tego. Istniejące metody porządkowania funkcji przynależności [22, 23, 24] są w swych podstawach koncepcyjnych bardzo różnorodne i prowadzą do różnych wyników, co stwarza nowy problem, a mianowicie wyboru optymalnej metody.

Jedna z metod, która przede wszystkim ze względu na prostotę obliczeń zasługuje na uwagę, bazuje na punktowej reprezentacji zbiorów rozmytych; zbiorom tym przyporządkowuje się liczby stanowiące średnią ważoną:

$$Z_i \longrightarrow T_i = \int_0^1 z \cdot Z_i(z)dz / \int_0^1 Z_i(z)dz$$

gdzie: i-ty wariant jest preferowany w stosunku do j-tego wtedy, gdy zachodzi $T_i > T_j$, $T_i, T_j \in [0,1]$.

Zastosowanie tej metody jest jednak godne polecenia jedynie wtedy, gdy zostanie ona uzupełniona o obliczenia pewnych wielkości obrazujących stopień sprzężenia zbiorów rozmytych opisujących oceny wariantów. Oceny w postaci zbiorów rozmytych są informacyjnie zasobniejsze niż jakiekolwiek ich charakterystyki w formie punktowej. Zastąpienie zbioru rozmytego przez jego nierozmytego reprezentanta, chociaż pozwala na liniowe uporządkowanie wariantów, prowadzi do utraty informacji o istniejącej strukturze między ocenami. Wprowadzając miarę powiązania wariantów ze sobą można część tego zasobu informacji o strukturze zachować.

Stopień powiązania, nazwany wskaźnikiem interakcji zbiorów Z_i, Z_j, odzwierciedlając wielkość nakładania się tych zbiorów na siebie, jest definiowany następująco:

$$\beta_{ij} \overset{def}{=} \int_0^1 (Z_i \cap Z_j)(z)dz = \int_0^1 \min(Z_i(z), Z_j(z))dz$$

Otrzymane w wyniku agregacji zbiory $Z_1, Z_2, \ldots, Z_n$ może cechować nadmierna, niepożądana w aspekcie interpretacji, rozmytość, szczególnie dla wartości funkcji $Z(z)$ bliskich 0 (przykład mogą stanowić funkcje przynależności na rys. 9).

Aby ograniczyć wpływ tego niepożądanego rozmycia, zaburzającego wyniki analizy funkcji przynależności, można przyjąć, np. arbitralnie pewną wartość, poniżej której funkcje te nie będą interpretowane. Właściwiej byłoby jednak dokonać oceny nieprecyzyjności informacji wejściowej, tzn. ocen cząstkowych i wag kryteriów reprezentowanych przez odpowiednie zbiory rozmyte. W tym celu wprowadzono tzw. wskaźnik precyzyjności zbioru rozmytego $A : [0,1] \longrightarrow [0,1]$ zdefiniowany następująco:

$$\alpha_{(A)} \overset{def}{=} 1 - \int_0^1 A(x)dx / \mathrm{mes}(\mathrm{supp}(A))$$

gdzie: mes (.) oznacza miarę zbioru $\{x \mid A(x) > 0\}$ zwanego nośnikiem zbioru rozmytego.

Jeśli $A \subset A'$ (tj. $A(x) \leq A'(x)$ dla $x \in [0,1]$) i $\mathrm{supp}(A) = \mathrm{supp}(A')$, to $\alpha(A) > \alpha(A')$. W przypadkach granicznych, tj. dla zbiorów rozmytych:

a) $A(x) = \begin{cases} 1, & x=x_o \\ 0, & x \neq x_o \end{cases}$ b) $A(x) = \begin{cases} 1, & x \in [x_1,x_2] \\ 0, & x \notin [x_1,x_2] \end{cases}$

wskaźnik precyzyjności wynosi odpowiednio $\alpha_{(A)} = 1,0$ dla a) i $\alpha_{(A)} = 0$ dla b).

Dla trójkątnej funkcji przynależności (rys. 1) $\alpha_{(A)} = 0,5$.

Globalny wskaźnik precyzyjności informacji wejściowej może być np. średnią ze wskaźników precyzyjności zbiorów B_{ij} i W_j:

$$\alpha_o = \frac{1}{n.m} \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \alpha(B_{ij}) + \sum_{j=1}^{m} \alpha(W_j) \right)$$

5.2. Interpretacja wyników przykładu praktycznego

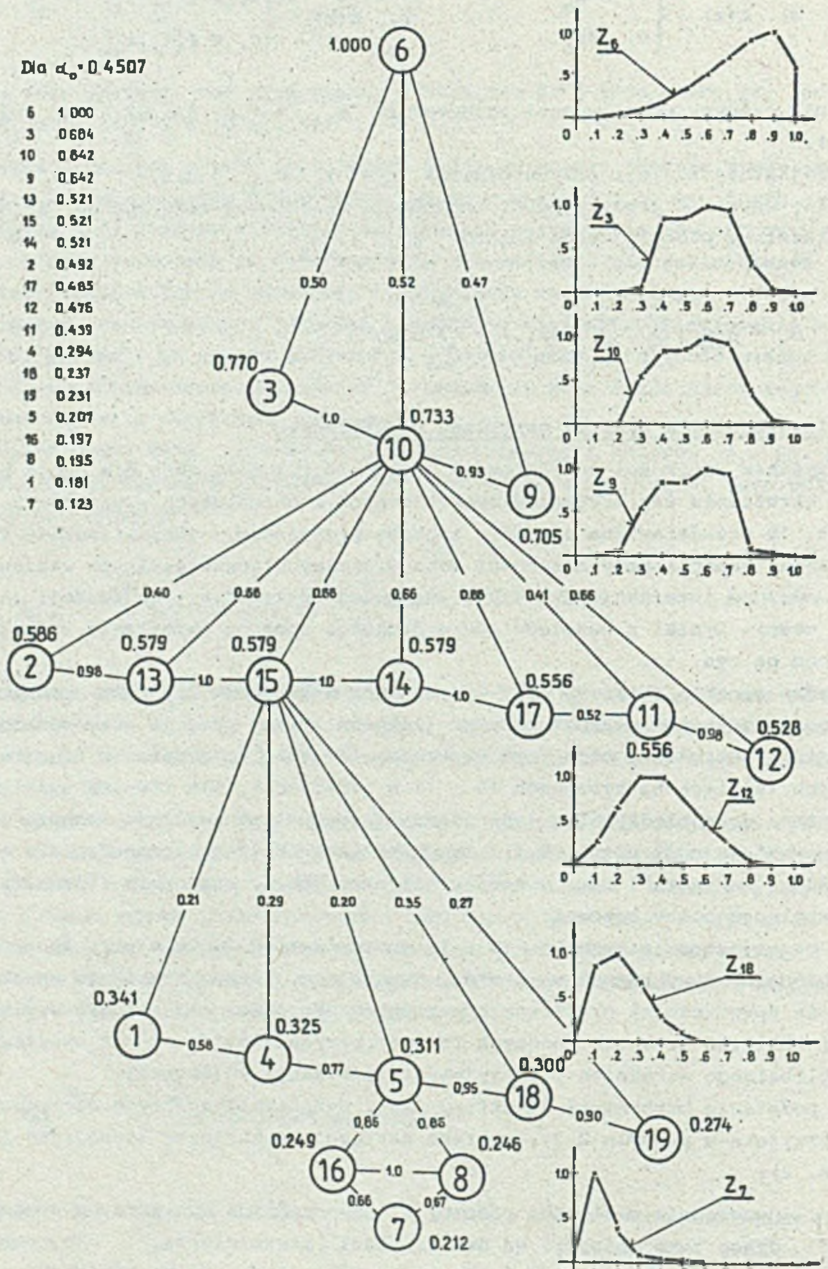
Wszystkie wielkości zdefiniowane w punkcie 5.1 obliczono dla dwóch sposobów określania wag kryteriów dyskutowanych i określonych w punkcie 3. Na rys. 10 przedstawione są - dla sposobu pierwszego - znormalizowane średnie ważone funkcji przynależności ocen globalnych poszczególnych wariantów oraz wskaźniki interakcji określające stopień sprzężenia tych funkcji (a zatem i ocen). Wyniki z uwzględnieniem drugiego sposobu określania wag przedstawiono na rys. 11.

Obydwa sposoby obliczeń dały analogiczną makrostrukturę ocen, różnice występują jedynie w mikrostrukturze (lokalne zmiany pozycji ocen niektórych wariantów). Struktura ocen jest tworzona nie tylko na podstawie średnich ważonych (ujętych na rysunkach 10 i 11 w podziałce), ale również uwzględnia powiązania ocen między sobą (sprzężenia "pionowe" są znacznie słabsze od "poziomych" na ogół bliskich 1). Wskaźniki interakcji obliczone są dla oceny każdego wariantu i ocen w hierarchii niższych, a następnie znormalizowane względem oceny bazowej.

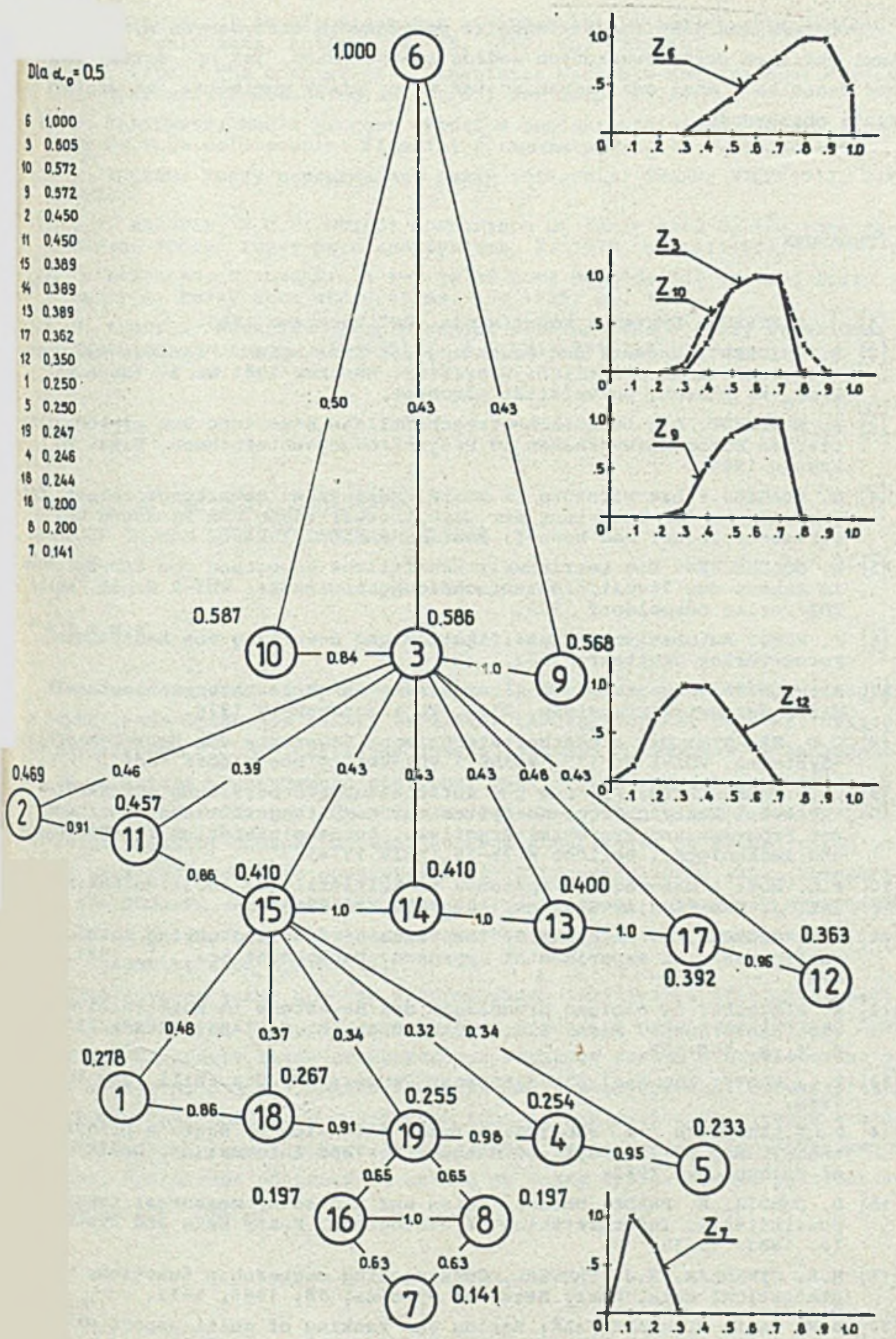
Po prawej stronie rysunków 10 i 11 przedstawiono funkcje przynależności ocen globalnych wybranych wariantów, obrazujące, "rzeczywiste" (w znaczeniu: nie uproszczone) preferencje wariantów. Po lewej zaś stronie wypisano wyniki obliczeń średnich ważonych funkcji przynależności ocen z uwzględnieniem globalnego wskaźnika precyzyjności informacji wejściowej.

Na podstawie otrzymanej struktury ocen, uwzględniając kryteria-wymagania (przyjęte w punkcie 2.2), wybrano następujące warianty (oznaczone jak na rys. 2):

- W6 - uwzględnia wielkości różnicy między średnicą cylindra, a średnicą drąga jako mniejszą od dwu grubości uszczelnienia,
- W3 - spełnia wymaganie minimalnej długości części biernej tłoka,
- W10 - uwzględnia możliwość połączenia tłoka z drągiem rurowym,
- W14 - spełnia wymaganie rozbieralności złącza,
- W13 - daje płynną zmianę prędkości tłoka w skrajnych położeniach.


Dla α₀ = 0.4507
6 1.000
3 0.684
10 0.642
9 0.642
13 0.521
15 0.521
14 0.521
2 0.492
17 0.485
12 0.476
11 0.439
4 0.294
18 0.237
19 0.231
5 0.207
16 0.197
8 0.195
1 0.181
7 0.123
Z6
Z3
Z10
Z9
Z12
Z18
Z7

Rys. 10


Dla α_0= 0.5
6 1.000
3 0.605
10 0.572
9 0.572
2 0.450
11 0.450
15 0.389
14 0.389
13 0.389
17 0.362
12 0.350
1 0.250
5 0.250
19 0.247
4 0.246
18 0.244
16 0.200
8 0.200
7 0.141
Z_6
Z_3
Z_{10}
Z_9
Z_{12}
Z_7

Rys. 11

Interesująca jest również analiza porównawcza otrzymanych wyników z w kami obliczeń przeprowadzonych według innych metod, jak np. metody punkt wej Danielsa. Musi ona jednak zostać w tej pracy pominięta, ze względu swoją obszerność.

LITERATURA

[1] J. DIETRYCH. System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.

[2] R. REICHERT: Entwurf und Bewertung von Strategien. Planungs-und Orga nisationswissenschaftliche Schriften. München 1984 Nr. 37 (Herausg. Prof. W. Kirsch, Universität München).

[3] E. WEILANDT: Die technisch-wirtschaftliche Bewertung von prozessorie tierten Forschungsvorhaben in Projektierungsunternehmen. Diss. TH Aachen 1980.

[4] G. KRASSER.: Die Wichtung im mehrdimensionalen Bewertungsprozess, dar gestellt an der Bewertung der Umweltauswirkungen von Strassen und Strassenverkehr. Bad Honnef: Bock & Herchen, 1981.

[5] H. GOLDBECKER: Die betriebswirtschaftliche Bewertung von CAD-Systeme im Rahmen des Investitionsentscheidungsprozesses. VDI-Z Nr. 38, Reihe VDI-Verlag Düsseldorf 1979.

[6] F. KIND: Automatische Klassifikation und Bewertung von Bausystemen. Forum-Verlag Stuttgart 1977.

[7] R. HECHLER: Bewertung von Alternativen für Beleuchtungsanlagen mit Hilfe der Nutzwertanalyse. Diss. TU Braunschweig 1976.

[8] G.D. ERKRATH: Die sicherheitstechnische Bewertung von Mensch-Maschin -Systemen. VDI-Z Nr. 113, Reihe 1 VDI-Verlag Düsseldorf 1984.

[9] Ch. ZANGEMEISTER: Planung und Entscheidungsvorbereitung mit NAPSY- -Nutzwert-Analyse-Programm-System zur computergestützten Bewertung von Programm-und Projektalternativen. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bericht W 76-19, Köln 1976.

[10] G.G. ROY: A man-machine approach to multicriteria decision making. Int. J. Man-Machine Studies, 12, 1980, 203-215.

[11] R.M. HOGARTH, S. MAKRIDAHIS: The value of decision making in a comple environment: an experimental approach. Management Sci., 1, 1981, 93- -107.

[12] W. PREISLER: Zu einigen Grundlagen des Bewertens im Konstruktiven Ent wicklungsprozess. Wiss. Z.d. Techn. Hochsch. Karl-Marx-Stadt 25(1983) H. 4, S. 500-509.

[13] T.L. SAATY: The Analytic Hierarchy Process. Mc Graw-Hill, New York 1980.

[14] P.J.M.LAARHOVEN, W. PEDRYCZ: A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Rep 82-21. Dept. of Mathematics and Informatics, Delft Univ. of Technology, 1982.

[15] D. DUBOIS, H. PRADE: Unfair coins and necessity measures: toward a possibilistic interpretation of histograms, Fuzzy Sets and Systems, 10, 1983, 15-20.

[16] M.R. CIVANLAR, H.J. TRUSSEL, Constructing membership functions using statistical data, Fuzzy Sets and Systems, 18, 1986, 1-13.

[17] S.M. BAAS, H. KWAKERNAAK: Rating and ranking of multi-aspect alterna tives using fuzzy sets. Automatica, 13, 1977, pp. 47-58.

[18] H. KWAKERNAAK: An algorithm for rating multiple-aspect alternatives using fuzzy sets. Automatica, 15, 1979, pp. 615-616.

[19] L.A. ZADEH: The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. Elsevier, New York, 1973.

[20] W. TARNOWSKI: Model procesu wyboru w projektowaniu technicznym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Automatyka z. 72, Gliwice 1984.

[21] M. SUGENO: Fuzzy measures and fuzzy integrals. Trans. SICE 1972, 218-226.

[22] J.F. BALDWIN, N.C.F. GUILD: Comparison of fuzzy sets on the some decision space. Fuzzy Sets and Systems, 2, 1979, pp. 213-233.

[23] G. BARTOLAN, R. DEGANI: A review of some methods for ranking fuzzy subsets. Fuzzy Sets and Systems, 15, 1985, pp. 1-19.

[24] W. PEDRYCZ: Ranking multiple aspect alternatives - fuzzy relational equations approach, Automatica, 2, 1986, 251-253.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА СПОСОБСТВУЮЩАЯ ПРОЦЕССУ ОЦЕНКИ КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ

Р е з ю м е

В работе представлен оригинальный метод оценки по нескольким критериям, и определения принципов отбора вариантов конструкторских решений. Подробно рассмотрены способы частичной оценки, которых реализация, в зависимости от характера применяемого критерия, дает результаты детерминированные, размытые и вероятностные. Представлен способ моделирования функции принадлежности размытых оценок, а также концепции выражения на языке теории размытых множеств оценок детерминированного и вероятностного вида. Предлагаются два способы моделирования значимости критериев в размытом представлении. Далее рассмотрен вопрос агрегации частичных оценок одновременно учитывая размытые веса критериев.

Анализируются также способы интерпретации результатов агрегации. Большое внимание уделено способу определения порядка в множестве функций принадлежности. На основе такой интерпретации вводится индекс взаимодействия размытых множеств, а также индекс точности входной информации. Методологические рассуждения подкреплены примером из практики, которого отдельные этапы решения представлены в работе параллельно с исследуемыми теоретическими вопросами. Програмное обеспечение метода на языке Турбо-Паскаль реализовано на компьютере IBM/PC.

COMPUTER SYSTEM FOR AIDING A PROCESS OF EVALUATION OF DESIGN ALTERNATIVES

S u m m a r y

The paper deals with an original method of multicriteria determination of preference of in a set of various design alternatives. Discussed are details of methods of partial evaluation of the alternatives (viz. performed with respect to different criteria) which with regard to a character of criteria taken into account produce results by the use of deterministic probabilistic or fuzzy approaches. A method of modelling of membership functions of fuzzy sets of weights as well as partial evaluation of the alternatives is presented. An idea of expressing of the evaluations being deterministic or probabilistic in their nature in a language of fuzzy sets is given as well. There are proposed two methods of modelling of importance of the criteria considered. In sequel a problem of aggregating of the partial evaluations and the weights attached to the criteria is solved. Methods of interpretation of the results of aggregation performed are discussed. A special attention is paid to ordering of fuzzy sets forming the result of the evaluation of the alternatives. For their complete interpretation we introduce an index of interaction between the fuzzy sets and an index of precision of input information. Methodological considerations are supported by an applicational example that visualizes all the steps performed before. The proposed method programmed in TURBO PASCAL has been implemented making use of IBM/PC.

Recenzent: Dr inż. Zenon Sosnowski

Wpłynęło do redakcji: 2.01.1987 r.