

HIERARCHICZNE I WIELOKRYTERIALNE ZARZĄDZANIE WIEDZĄ W PODEJMOWANIU DECYZJI I OCENIE ZJAWISK SOCJALNO - EKONOMICZNYCH.

Ludmiła Dymowa, Paweł Sewastianow, Jarosław Łapeta

WSTĘP

Wiadomo, że wiedza istnieje nie samodzielnie, ale w ujęciu różnych problemów oceny otaczającej rzeczywistości i odpowiedniego podejmowania decyzji. Nawet w sytuacjach rozrywkowe w trakcie gry podejmujemy decyzje, które w rzeczywistości nie byłibyśmy w stanie podejmować, i właśnie ten proces dostarcza nam najwięcej przyjemności. Nie istnieje wiedza gromadzona bez celu nawet nie zawsze sformułowanego w formie jawnej. Proces oceny i podejmowania decyzji zawsze oparty jest na kreowaniu pewnego modelu, istniejącego nawet na poziomie podświadomym. Ten fakt często zatuszowany lub wprost ignorowany w działalności informatycznej, kiedy zgromadzenie olbrzymich baz danych przetrada się w proces zamknięty na siebie tzn. celem kreowania tych baz jest właśnie proces ich kreowania i uzupełnienia. Przy tym istnieje mit o tym, że mechaniczne zwiększenie ilości danych jest ekwiwalentne do zwiększenia wiedzy o rzeczywistości. Jednak wiedza zawsze jest modelem pozwalającym łączyć i wytłumaczyć fakty otaczającej rzeczywistości w ramach określonych koncepcji. Do lat sześćdziesiątych istniały w środowisku naukowym przesłanie o nieograniczonych możliwościach modelowania matematycznego w tym metod kształtowania wiedzy na podstawie danych empirycznych. Niestety rozwój cybernetyki w końcu lat pięćdziesiątych wyjawiał istnienie całego szeregu problemów, które doprowadziły twórcę logiki rozmytej prof. L. Zaldeha do sformułowania stwierdzenia zwanego zasadą niespójności [24]: „w miarę wzrostu złożoności systemu nasza zdolność do formułowania istotnych stwierdzeń dotyczących jego zachowania maleje, osiągając w końcu próg poza którym precyzja i istotność stają się cechami wzajemnie prawie się wykluczającymi”. Na tej smutnej nutce można by zakończyć artykuł. Jednak istnieją możliwości posługiwania się olbrzymimi zasobami danych surowych zgromadzonych w odpowiednich bazach organizując ich sposób hierarchiczny za pomocą agregowania na określonych poziomach hierarchii według pewnych zasad podejmowania decyzji wielokryterialnych w warunkach niepewności. Przedstawiony artykuł poświęcony jest właśnie prezentacji wkrótce opisaną powyżej ogólnej metodologii na wyrazistym przykładzie hierarchicznej organizacji danych przedstawionych w Roczniku Statystycznym publikowanym przez Główny Urząd Statystyczny.

Ogólne opisanie problemu rzeczywistego.

Praktyka światowa udowodniła, że w celu złagodzenia nieuniknionych negatywnych społecznych skutków przeprowadzanych reform niezbędne jest stałe monitorowanie poziomu życia ludzi w poszczególnych regionach kraju. Jednak, na podstawie zebranych danych statystycznych, zawartych, na przykład w Roczniku Statystycznym, często trudno szybko i dokładnie odpowiedzieć na pytania: „Które województwo jest najlepsze z punktu widzenia poziomu życia?”, „Które województwo jest najgorsze?”, „W ostatnich latach w poszczególnych województwach obserwowano polepszenie albo pogorszenie poziomu życia?” itd. Możliwość otrzymania odpowiedzi na podobne pytania byłaby bardzo przydatna do podejmowania różnych decyzji na poziomie ogólnopolskim, wojewódzkim albo prywatnej osoby. Na przykład, do podejmowania decyzji o przeprowadzce do innego miejsca zamieszkania osoba prywatna musi porównać między sobą poziom życia w poszczególnych województwach, tzn. wybrać najlepszą z alternatyw. Ważnym problemem może być także uogólniona ocena inwestycyjnej atrakcyjności regionu itd. Podczas takiego wyboru zachodzi potrzeba porównania alternatyw względem siebie nawzajem. W związku z tym pojawia się problem: w jaki sposób dokonać prawidłowego wyboru w sytuacji, kiedy ilość kryteriów, jakie ma do rozpatrzenia, jest na tyle duża, że nie jest możliwe w sposób jednoznaczny oszacować, która z alternatyw jest lepsza.

Problemy wielokryterialności oceny alternatyw były rozpatrywane przez wielu autorów [9,8,17,18,22]. Jednak dzisiaj nie istnieje uniwersalne podejście przydatne do rozwiązywania wszystkich problemów decyzyjnych. Oprócz wielokryterialności problemem oceny alternatyw jest wielopoziomowość, charakterystyczna dla zagadnień rzeczywistych zwłaszcza w ekonomii, ekologii, analizie problemów społecznych. Dzisiaj dla rozwiązywania tego rodzaju problemów prawie standardowym stało się podejście Saaty'ego [9-13] tzw. Metoda Analizy Hierarchii. Popularność

tego rozwiązania spowodowana jest nie tylko jego skutecznością w rozpatrywaniu problemów na różnych poziomach, w tym i problemów ogólnogospodarczych, ale także jej przejrzystością i możliwością szybkiego opanowania. Metoda ta ma oprócz zalet także i wady. Jedną z jej wad jest wyraźna niedoskonałość matematyczna pewnych jej aspektów [19,1,16]. Na podstawie analizy sytuacji w dziedzinie wielokryterialnej oceny alternatyw można powiedzieć, że problem opracowania skutecznej metody wielokryterialnej i hierarchicznej oceny alternatyw jest dzisiaj nadal aktualny. W celu rozwiązania tego problemu P. Sewastjanow [15,14] w latach 80-tych zaproponował połączenie podejścia Saaty'ego z mechanizmem teorii zbiorów rozmytych. Metoda ta została skutecznie wykorzystana przy opracowaniu komputerowego systemu wspomagania decyzji przy wyborze projektów inwestycyjnych [5], metody i oprogramowania dla zagadnienia optymalizowanego wyboru gatunku stali konstrukcyjnej [2], metodyki oceny kontraktu w przedsiębiorstwie metalurgicznym [6] itd.

W niniejszym artykule przedstawiona została metoda i oprogramowanie dla zagadnienia szeregowania poszczególnych województw Polski z punktu widzenia poziomu życia w nich na podstawie danych statystycznych, zawartych w Roczniku Statystycznym 2001 Głównego Urzędu Statystycznego w Warszawie [7].

W celu rozwiązania tego problemu według [2-6] należy wykonać następujące kroki:

- wybór kryteriów szczegółowych,
- utworzenie hierarchicznej struktury, pozwalającej na wielopoziomową analizę uzyskiwanych w trakcie obliczeń danych,
- utworzenie macierzy porządkowanych oraz wyznaczenie za jej pomocą współczynników względnej ważności kryteriów,
- wybór funkcji użyteczności wraz z jej punktami kluczowymi,
- obliczenie kryteriów globalnych.

1. WYBÓR KRYTERIÓW SZCZEGÓŁOWYCH.

W celu wyboru odpowiednich kryteriów szczegółowych należy zastanowić się, jakie parametry dotyczące poziomu życia nas interesują. W tym miejscu pojawia się pierwszy problem, jaki napotykamy, a mianowicie subiektywizm tego wyboru. Ludzie przy ocenie poziomu życia w określonym miejscu kierują się różnymi czynnikami, np. liczba miejsc w teatrach, liczba lekarzy, średnia płaca w wybranym mieście, itp. Należy wybrać te kryteria, które mają dla nas znaczenie. W ten sposób, oczywiście, ogranicza się do pewnego stopnia możliwość analizy poziomu życia dla innych osób o innych potrzebach. Podczas doboru kryteriów można napotkać na następujące problemy:

- nierównoważność kryteriów: część kryteriów jest bardziej istotna, a część mniej istotna,
- kryteria szczegółowe dzielą się najczęściej na dwie grupy: kryteria ilościowe (np. średnia płaca na danym terenie), kryteria jakościowe - oszacowywane na podstawie ocen ekspertów z danych dziedzin albo sądu oceniającego (np. ocena stopnia ryzyka inwestycji na danym terenie). W tym drugim wypadku powstaje problem właściwego ustalenia wartości dla danego kryterium - oceny poszczególnych ekspertów mogą się od siebie różnić, czasami nawet znacząco, dlatego kryteria z grupy jakościowych są obciążone dużym stopniem subiektywizmu,
- ilość kryteriów może być zbyt duża przez co trudne staje się oszacowanie, które z parametrów są ważniejsze, a które mniej ważne.

W przypadku analizy poziomów życia w poszczególnych województwach wykorzystywane są tylko kryteria ilościowe, dzięki czemu udało się zmniejszyć stopień subiektywizmu kryteriów szczegółowych.

Kryteria szczegółowe podzielono na sześć kategorii:

- zdrowie,
- finanse,
- infrastruktura,
- czystość,
- praca,

- przestępczość,
W kategorii *zdrowie* umieszczono kryteria:
 - lekarze, kryterium to oznacza liczbę lekarzy na 10 tys. ludności,
 - łóżka szpitalne, oznaczające ilość łóżek szpitalnych na 10 tys. ludności,
 - W kategorii *finanse* umieszczono kryteria:
 - środki trwałe, kryterium to oznacza wartość brutto środków trwałych w przeliczeniu na jednego mieszkańca danego województwa,
 - produkt krajowy brutto - wartość produktu krajowego brutto w zł. w przeliczeniu na jednego mieszkańca,
 - dochody - wartość nominalnych dochodów brutto w sektorze gospodarstw domowych w zł. na jednego mieszkańca.
 - Kategoria *infrastruktura* zawiera następujące kryteria:
 - kolej - linie kolejowe eksploatowane normalnotorowe w km na 100 km² powierzchni ogólnej,
 - drogi - drogi publiczne o twardej nawierzchni w km na 100 km² powierzchni ogólnej województwa,
 - sklepy - ilość sklepów w danym województwie w przeliczeniu na 10 tys. ludności,
 - Następną kategorią jest *czystość* i zawiera następujące kryteria:
 - oczyszczalnie - ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków w procentach ludności ogółem,
 - emisja gazów - emisja przemysłowych zanieczyszczeń powietrza gazowych i pyłowych z zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza w tys. ton na 1 km² powierzchni województwa,
 - lesistość - powierzchnia gruntów leśnych w procentach powierzchni całkowitej województwa,
 - Kategoria *praca* zawiera następujące kryteria:
 - pracujący - liczba osób zatrudnionych w przeliczeniu na 10 tys. ludności w danym województwie,
 - bezrobotni - liczba zarejestrowanych bezrobotnych w przeliczeniu na 10 tys. ludności w danym województwie,
 - średnia płaca - przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto w zł. w danym województwie,
 - Ostatnią kategorią jest *przestępczość*, która zawiera kryteria:
 - przestępstwa - ilość przestępstw stwierdzonych w zakończonych postępowaniach przygotowawczych na 10 tys. ludności,
 - wskaźnik - wskaźnik wykrywalności sprawców przestępstw stwierdzonych w procentach.
- Sposób wypełnienia odpowiedniej tablicy kryteriów szczegółowych dla kategorii *Zdrowie* pokazano na rys. 1 (górne okno).

Zdrowie

Dane

Województwo	Lekarze	Łóżka szpitalne
Dolnośląskie	23,1	51,9
Kujawsko-pomorskie	18,0	44,2
Lubelskie	23,9	52,9
Lubuskie	17,0	44,4
Łódzkie	24,5	53,5

Macierz parzystych porównań

Kryterium	Lekarze	Łóżka szpitalne	RANGA
Lekarze	1	2	1,333301
Łóżka szpitalne	0,5	1	0,666698

Przelicz rangi

Zamknij

Typ funkcji i jej punkty kluczowe

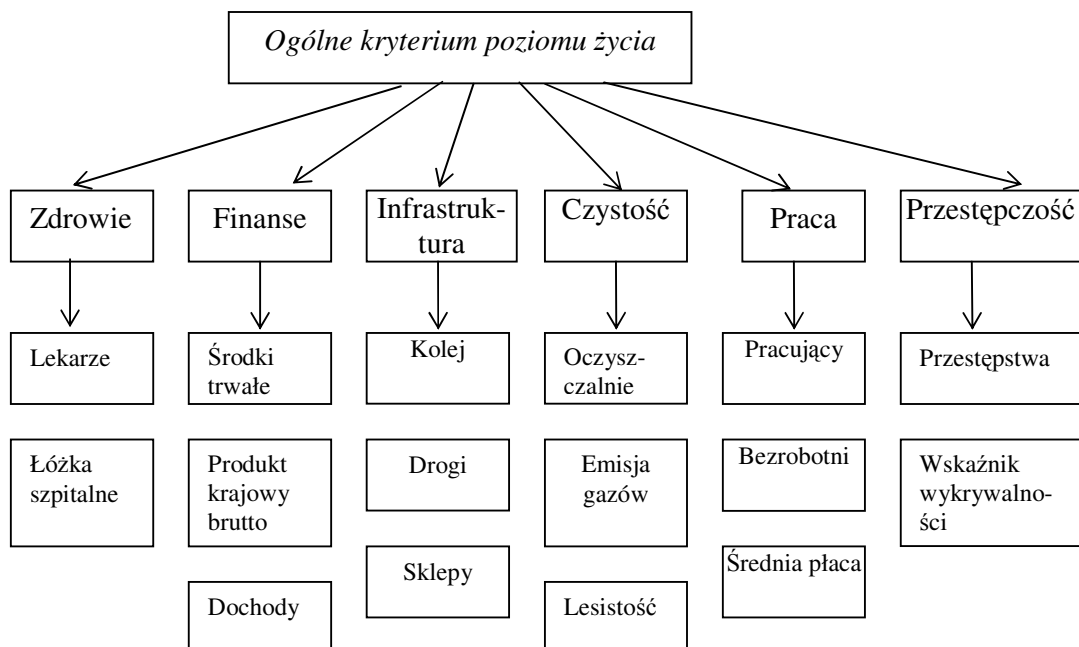
Typy funkcji

Kryterium	Typ funkcji	X1	X2
Oczyszczalnie	6	41,0	74,0
Emisja gazów	1	0,6	49,2
Lesistość	6	20	50,2
Bezrobotni	1	600	1215

Rys. 1. Formularz *Zdrowie*.

2. HIERARCHICZNA STRUKTURA KRYTERIÓW.

W naszym przypadku odpowiednia struktura hierarchiczna wygląda jak na rys. 2. Występują w niej trzy poziomy hierarchii: kryteria szczegółowe, kategorie tych kryteriów i ogólne kryterium poziomu życia.



Rys. 2. Hierarchiczna struktura użyta w analizowanym problemie.

3. SPORZĄDZENIE LINGWISTYCZNEJ MACIERZY PARZYSTYCH PORÓWNAŃ.

W celu porównania ważności kryteriów budowana jest kwadratowa macierz parzystych porównań, w której oszacowuje się, które kryteria i jak bardzo są ważniejsze od innych kryteriów.

Zgodnie z danymi badań psychofizycznych przeciętny człowiek rozróżnia nie więcej niż od 7 do 9 poziomów na skali pewnego parametru. Wynika to ze specyficznych cech konkretnych języków, w których nie ma odpowiednio precyzyjnych części mowy (przymiotników), aby można było w sposób precyzyjny ustalić większą ilość poziomów. Jeżeli zostałyby ustalone więcej poziomów wówczas część poziomów uległaby zbyt dużemu rozmyciu, przez co niemożliwe byłoby rozróżnienie różnic w sąsiadujących ze sobą poziomach.

Ustalono następujące odpowiedniki lingwistyczne dla poszczególnych poziomów:

- poziom 1 - identyczność parametrów,
- poziom 2 - pośrednia wartość między poziomami 1 i 3,
- poziom 3 - umiarkowana wyższość pierwszego parametru nad drugim,
- poziom 4 - pośrednia wartość między poziomami 3 i 5,
- poziom 5 - istotna wyższość pierwszego parametru nad drugim,
- poziom 6 - pośrednia wartość między poziomami 5 i 7,
- poziom 7 - znaczna wyższość pierwszego parametru nad drugim,
- poziom 8 - pośrednia wartość między poziomami 7 i 9,
- poziom 9 - nadzwyczajnie silna wyższość pierwszego parametru nad drugim.

Tablica 1 przedstawia przykładową macierz parzystych porównań dla kryteriów z grupy rynek pracy.

Tab. 1. Macierz parzystych porównań dla kryteriów z grupy rynek pracy.

	Pracujący	Bezrobotni	Średnia płaca
Pracujący	1	1/2	1/4
Bezrobotni	2	1	1/2
Średnia płaca	4	2	1

Jak widać wystarczy wypełnić macierz z jednej strony głównej przekątnej, wartości z drugiej strony głównej przekątnej są odwrotnością wartości leżących symetrycznie po drugiej stronie przekątnej zgodnie ze wzorem (1):

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (1)$$

Zastosowanie i sposób wypełnienia macierzy parzystych porównań dla kategorii *Zdrowie* pokazano na rys. 1 (środkowe okno).

4. USTALENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW WZGLĘDNEJ WAŻNOŚCI DLA POSZCZEGÓLNYCH KRYTERIÓW SZCZEGÓŁOWYCH.

Macierz parzystych porównań posiada strukturę pozwalającą ocenić, który z czynników jest ważniejszy od innych, natomiast nie daje oceny wprost ważności konkretnego kryterium, dlatego w celu ustalenia konkretnej wartości ważności dla danego kryterium wykorzystuje się metodę współczynników względnej ważności kryteriów.

W celu obliczenia wartości współczynnika względnej ważności *i*-go kryterium według Saatego [9] należy zastosować wzór (2):

$$a_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} * n \quad (2)$$

Po zastosowaniu tego wzoru dla danych z tablicy 1 otrzymamy następujące wyniki zamieszczone w tablicy 2:

Tab. 2. Macierz parzystych porównań z wyliczonymi współczynnikami względnej ważności kryteriów.

	Pracujący	Bezrobotni	Średnia płaca	Ranga
Pracujący	1	1/2	1/4	0,4285
Bezrobotni	2	1	1/2	0,8571
Średnia płaca	4	2	1	1,7143

Jak widać z obliczeń najważniejszym kryterium w tej tabeli jest *Średnia płaca*, następnym w kolejności pod względem ważności jest kryterium *Bezrobotni*, zaś najmniej istotnym kryterium jest *Pracujący*.

Taka metodologia daje czytelny obraz ważności określonych kryteriów, dzięki czemu uzyskuje się możliwość precyzyjnego zastosowania tych wyników w dalszej części zastosowanych algorytmów.

Współczynniki względnej ważności kryteriów dla kategorii *Zdrowie* są pokazane na rys. 1 (środkowe okno). Obok tego okna jest przycisk powodujący przeliczenie współczynników względnej ważności dla macierzy parzystych porównań. Przycisk *Zamknij* powoduje zamknięcie okna.

Dla wszystkich kategorii sporządzono podobne formularze pozwalające na manipulacje danymi dotyczącymi kryteriów szczegółowych.

Rys. 3 przedstawia formularz *Macierz kategorii* pozwalający na edycję danych w macierzy parzystych porównań w drugim poziomie hierarchii opracowywanego problemu.

Kategoria	Zdrowie	Finanse	Infrastruktura	Czystość	Praca	Przestępczość	RANGA
Zdrowie	1	1	0,5	0,5	0,3333	0,3333	0,49031951538
Finanse	1	1	0,5	0,5	0,3333	0,3333	0,49031951538
Infrastruktura	2	2	1	1	0,5	0,5	0,89084214277
Czystość	2	2	1	1	0,5	0,5	0,89084214277
Praca	3	3	2	2	1	1	1,61883834184
Przestępczość	3	3	2	2	1	1	1,61883834184

Przelicz rangi Zamknij

Rys. 3. Formularz *Macierz kategorii*.

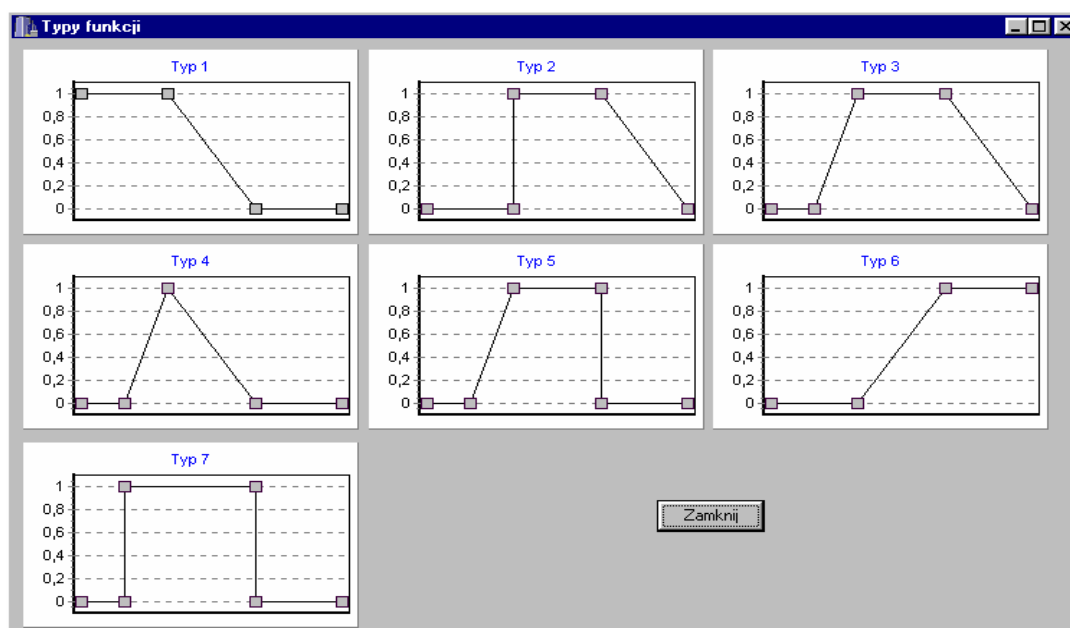
5. WYBÓR ODPOWIEDNIEJ FUNKCJI UŻYTECZNOŚCI I WYZNACZENIE JEJ PUNKTÓW KLUCZOWYCH.

Określenie wartości rang pozwoli na użycie tych wyników przy wyliczeniu kryterium globalnego, ale wcześniej należy określić kształt oraz wybrać punkty kluczowe funkcji użyteczności.

W teorii zbiorów rozmytych funkcja charakterystyczna została uogólniona i nazywa się funkcją przynależności (użyteczności). Przyporządkowuje ona każdemu elementowi zbioru wartości z przedziału $[0,1]$, a nie tylko jedną z wartości z dwuelementowego zbioru $\{0,1\}$, jak to jest w klasycznej teorii zbiorów.

Nie zawsze wzrost wartości jakiegoś kryterium jest pozytywnym zjawiskiem, np. w przypadku kryterium *Przestępstwa stwierdzone* wzrost wartości tego kryterium musi powodować obniżenie poziomu życia. Z kolei wzrost wartości kryterium *Średnia płaca* jest sytuacją jak najbardziej pozytywną, co z kolei powinno powodować zwiększenie wartości funkcji tego kryterium.

Funkcje użyteczności (przydatności) pozwalają określić, w jakich przypadkach wzrost wartości jakiegoś kryterium powoduje zwiększenie się wartości funkcji tego kryterium, a w jakich przypadkach spadek wartości kryterium powoduje wzrost wartości jego funkcji. Na rys. 4 jest przedstawionych siedem typów funkcji użyteczności, które przewidują wszystkie możliwe sytuacje, z którymi można spotkać się przy rozwiązywaniu zagadnień oceny jakości.



Rys. 4. Formularz z typami funkcji.

Wybierając odpowiednie typy funkcji użyteczności (rys. 4), budowano funkcji użyteczności dla wszystkich kryteriów szczegółowych, przedstawionych na dolnym poziomie hierarchii (rys. 2).

Na przykład, dla kryterium szczegółowego *liczba osób pracujących* najlepiej wybrać funkcję użyteczności typu 6. Interpretacja tej funkcji jest następująca: niewielka ilość pracującej ludności (x) na danym terenie nie daje wymiernych korzyści finansowych, jest zjawiskiem negatywnym, w efekcie wartość funkcji, zaznaczona zwykle przez $\mu(x)$ wynosi zero; po przekroczeniu wartości kryterium, będącej pierwszym punktem kluczowym funkcji użyteczności, zaczyna się wzrost wartości funkcji użyteczności od zera do jedynki, ponieważ jest to zjawisko pozytywne. Wartość kryterium szczegółowego, przy którym wartość funkcji użyteczności osiąga jedynkę jest drugim punktem kluczowym. Po przekroczeniu drugiego punktu kluczowego wartość funkcji użyteczności pozostaje na poziomie $\mu(x) = 1$ przy dalszym wzroście wartości kryterium.

Funkcja użyteczności typu 1, przedstawiona na rys. 4, jest również często wykorzystywanym rodzajem funkcji użyteczności. Przy niskiej wartości kryterium wartość funkcji wynosi 1, wzrastanie wartości kryterium nie powoduje zmniejszania wartości funkcji, aż do momentu gdy funkcja przekroczy swój punkt kluczowy kiedy to wartość funkcji zaczyna spadać; dalszy wzrost wartości kryterium powoduje spadek wartości funkcji aż do momentu gdy wartość funkcji spadnie poniżej drugiego punktu kluczowego, od tego momentu dalszy wzrost wartości kryterium nie powoduje zmniejszania się wartości funkcji, która wynosi 0. Taką funkcję można zinterpretować na przykładzie ilości przestępstw na danym terenie: niewielka ilość przestępstw nie powoduje uciążliwości dla mieszkańców, stąd na początku wartość funkcji mimo zwiększania się kryterium (ilość przestępstw) nie zmniejsza się, ale po przekroczeniu pewnej wartości, która jest dla tej funkcji punktem kluczowym, wartość funkcji zaczyna spadać oznacza to, że ilość przestępstw na danym terenie zwiększyła się do tego stopnia, że powoduje to zwiększenie uciążliwości tego procederu i dlatego wartość funkcji użyteczności zaczyna spadać; dalszy wzrost przestępczości powoduje pogarszanie się poziomu życia, stąd wartość funkcji użyteczności spada; spadek odbywa się aż do momentu gdy ilość przestępstw na danym terenie jest już na tyle wysoka, że dyskomfort związany z uciążliwością tych przestępstw powoduje niemożność dalszego mieszkania na tym terenie; jest to kolejny punkt kluczowy danej funkcji użyteczności, funkcja przyjmuje w tym punkcie wartość 0.

Należy zauważyć, że każda funkcja użyteczności posiada określone punkty kluczowe, które należy oszacować. Dla przykładu przeanalizujmy kryterium *Pracujący* w tabeli *Praca*:

Tab. 3. Tabela *Praca* [7].

Województwo	Pracujący	Bezrobotni	Średnia płaca
Dolnośląskie	3282	900,31	1973,44
Kujawsko-pomorskie	3486	976,35	1794,92
Lubelskie	4305	803,56	1797,02
Lubuskie	3094	997,56	1789,27
Łódzkie	3973	875,84	1782,98
Małopolskie	4007	657,53	1867,35
Mazowieckie	4548	681,43	2681,85
Opolskie	3262	727,44	1865,48
Podkarpackie	4347	915,83	1755,11
Podlaskie	3976	709,07	1787,42
Pomorskie	3261	797,04	1990,66
Śląskie	3491	648,81	2094,39
Świętokrzyskie	4398	993,48	1815,12
Warmińsko-mazurskie	2993	1214,18	1797,27
Wielkopolskie	3887	704,99	1898,35
Zachodniopomorskie	3088	1010,78	1896,67

Jak widać najmniejsza liczba osób pracujących jest w województwie Warmińsko-mazurskim: 2993 osoby na 10 tys. ludności, z kolei najwięcej osób pracuje w województwie Mazowieckim: 4548 osób na 10 tys. ludności. W obu przypadkach wartości kryterium mogłyby być punktami kluczowymi funkcji użyteczności typu 1, jednak wtedy w przypadku województwa Warmińsko-mazurskiego wartość funkcji wynosiłaby 0. Jako, że nie chcemy przypisywać temu województwu tak niskiej oceny (być może ma ono jakieś inne walory analizowane przez program), dlatego jako pierwszy punkt kluczowy wybieramy wartość 2900. Drugim punktem kluczowym funkcji oznaczającym najlepsze województwo według tego kryterium mogłaby być wartość kryterium oznaczająca województwo Mazowieckie, ale przyjmujemy wartość 5000 oznaczająca połowę ludności aktywnej zawodowo. W ten sposób wyznaczyliśmy funkcję użyteczności typu 1 zgodnie z rys. 2.; pierwszy punkt kluczowy to wartość 2900, natomiast drugi punkt kluczowy to wartość kryterium równa 5000. Podobnie ustalamy punkty kluczowe dla pozostałych kryteriów.

Na dole formularza *Zdrowie* (rys. 1) znajduje się tabela z typami funkcji, które należy przypisać do konkretnego kryterium szczegółowego i punktami kluczowymi funkcji. Przycisk *Typy funkcji* spowoduje wyświetlenie formularza z typami funkcji przedstawionymi na rys. 4.

6. SFORMUŁOWANIE KRYTERIÓW GLOBALNYCH.

W celu rozstrzygnięcia problemu wyliczenia kryterium globalnego poziomu życia należy opracować sposoby agregowania wszystkich dostępnych informacji w globalne ilościowe oceny. Wynikiem musi być liczba - wartość globalnego wskaźnika jakości.

Poniższe wzory, zgodnie z metodą Sewastjanowa [15, 14], pozwalają w najlepszy sposób na obliczenie globalnych kryteriów na podstawie wartości funkcji użyteczności kryteriów szczegółowych i ich rang.

$$DD_1 = \min(\mu_1(x_1)^{\alpha_1}, \mu_2(x_2)^{\alpha_2}, \mu_3(x_3)^{\alpha_3}, \dots) \quad (3)$$

$$DD_2 = \prod_{i=1}^N \mu_i(x_i)^{\alpha_i} \quad (4)$$

$$DD_3 = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i * \mu_i(x_i)}{N} \quad (5)$$

gdzie:

$\mu_1(x_1), \mu_2(x_2), \dots, \mu_N(x_N)$ - funkcje użyteczności,
 $\{x_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ - jakościowe i ilościowe parametry jakości,
 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ - współczynniki względnej ważności kryteriów.

Jak pokazano w [6,15], kryteria globalne DD_2 i DD_3 mają własność kompensacji wartości małych kryteriów szczegółowych kosztem kryteriów szczegółowych o dużych wartościach, co nie zawsze odpowiada naszym intencjom. Kryterium globalne DD_1 , nazywane kryterium maksymalnego pesymizmu, zawsze jest równe wartości najgorszego kryterium szczegółowego z uwzględnieniem jego współczynnika względnej ważności.

W rozważaniu problemu oceny poziomu życia w poszczególnych województwach wykorzystano wszystkie trzy warianty obliczania kryterium globalnego. We wszystkich trzech przypadkach otrzymujemy oceny od 0 do 1. Rys. 5 przedstawia kryteria globalne w kategorii *Zdrowie* obliczone zgodnie ze wzorami 3 - 5. W ten sam sposób obliczone zostały kryteria globalne kategorii *Finanse*, *Infrastruktura*, *Czystość*, *Praca*, *Przestępczość* i dla każdej sporządzono podobne formularze.

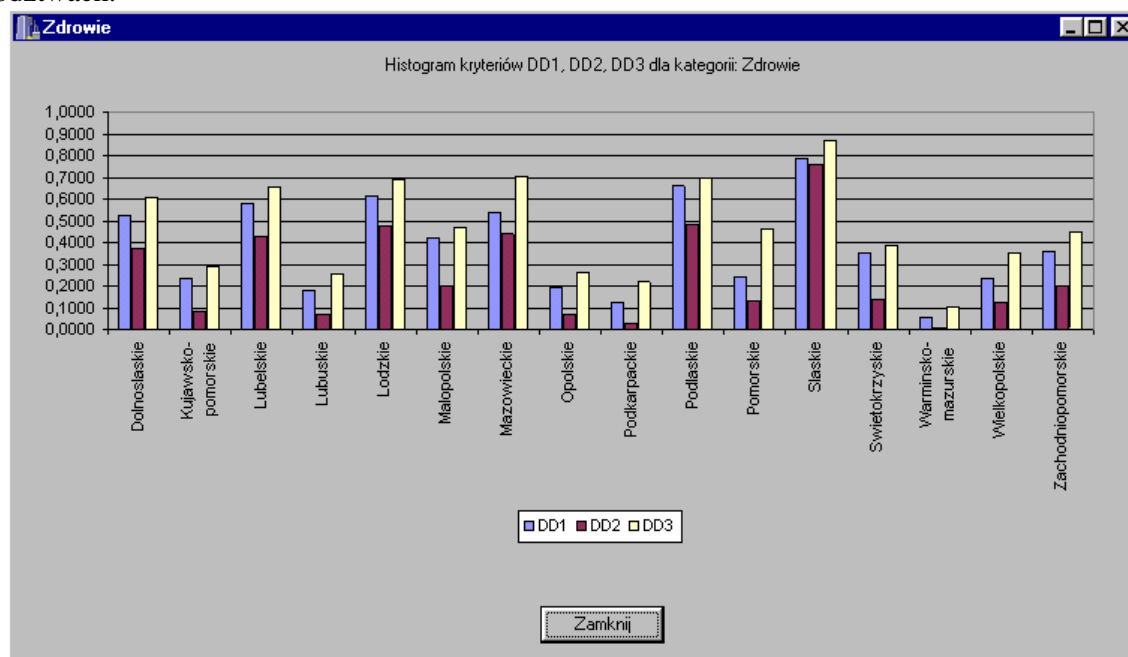
Województwo	DD1	DD2	DD3
Dolnoslaskie	0,5249	0,3713	0,60
Kujawsko-pomorskie	0,2311	0,0817	0,29
Lubelskie	0,5759	0,4299	0,65
Lubuskie	0,1813	0,0661	0,25
Lodzkie	0,615	0,4732	0,6
Malopolskie	0,4177	0,1985	0,47
Mazowieckie	0,5383	0,441	0,70

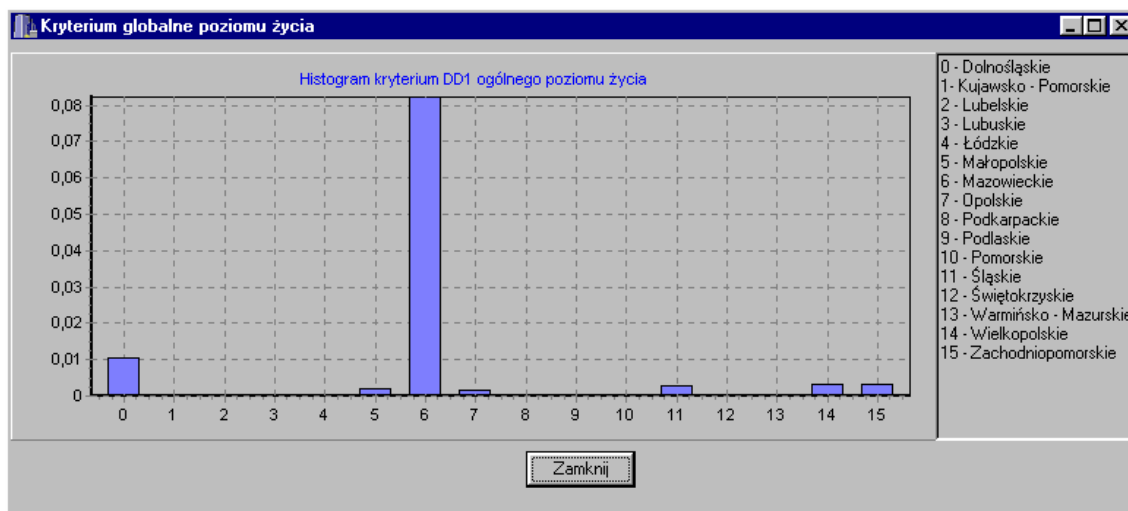
Przelicz kryteria Zamknij

Rys. 5. Okno *Zdrowie - kryterium globalne*.

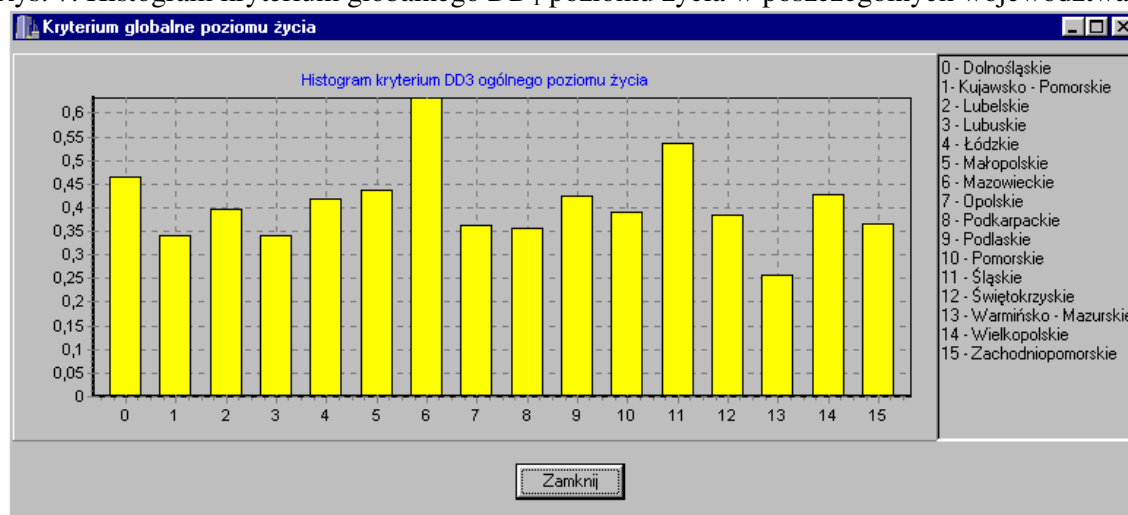
7. WIZUALIZACJA WYNIKÓW OBLICZEŃ.

Kryteria globalne poszczególnych kategorii oblicza się zgodnie ze wzorami 3 - 5, natomiast w przypadku ogólnego kryterium jakości zamiast wartości funkcji przynależności wykorzystuje się wartości kryteriów globalnych poszczególnych kategorii, wcześniej wyznaczając dla poszczególnych kategorii macierz parzystych porównań i obliczając współczynniki względnej ważności kategorii (rys. 3). Wykresy histogramowe zawierają porównanie kryteriów DD_1 , DD_2 , DD_3 dla każdego z województw. Na rys. 6 pokazano histogram kryteriów DD_1 , DD_2 , DD_3 dla kategorii *Zdrowie*, a na rys. 7, 8 - histogramy kryteriów globalnych DD_1 i DD_3 poziomu życia w poszczególnych województwach.

Rys. 6. Histogramy kryteriów DD_1 , DD_2 , DD_3 dla kategorii *Zdrowie*.



Rys. 7. Histogram kryterium globalnego DD_1 poziomu życia w poszczególnych województwach.



Rys. 8. Histogram kryterium globalnego DD_3 poziomu życia w poszczególnych województwach.

Jak widać z rys. 7, duża część województw ma wartości kryteriów globalnych poziomu życia równych zero. To oznacza, że dla tych województw przynajmniej jedna z kategorii *Finanse*, *Infrastruktura*, *Czystość*, *Praca*, *Przestępczość* albo *Zdrowie* ma wartość kryterium globalnego równą zero, a więc dana alternatywa (województwo) jest nie do przyjęcia. Jeżeli na tej podstawie zdecydujemy się odrzucić alternatywy z zerową wartością kryteriów globalnych, to powinniśmy wybrać alternatywę wśród pozostałych na podstawie kryterium globalnego DD_3 (rys. 8). Im wyższa jest wartość kryterium globalnego DD_3 określonej alternatywy, w tym większym stopniu odpowiada ona naszym wymaganiom.

Z wygenerowanych wykresów można wywnioskować, że najwyższy poziom życia notuje się w województwach: Mazowieckim, Śląskim, Dolnośląskim, Małopolskim, Zachodniopomorskim i Opolskim. Z kolei najniższy poziom życia jest w województwach: Warmińsko-Mazurskim, Podkarpackim, Lubuskim, Kujawsko-Pomorskim.

Zastosowana metodologia zbiorów rozmytych daje możliwości stabilnego przeprowadzania analiz matematycznych dotyczących oceny poziomu życia w poszczególnych województwach. Wykorzystanie technologii opisanej w pracy pozwoliło na sprawdzenie poziomu życia w różnych jego aspektach ujętych w kategorii.

Należy jednak pamiętać, że uzyskany wynik zależy od wyboru odpowiednich kryteriów szczegółowych, typów funkcji użyteczności, punktów kluczowych oraz macierzy parzystych porównań. Wybór innych kryteriów spowoduje, że uzyskany wynik będzie różnił się od otrzymanego. Opracowany program daje możliwość bardzo szybkiego i łatwego wprowadzenia danych, a także ich edycję oraz pozwala na analizę otrzymanych wyników.

Wykorzystaną metodę można zastosować w wielu dziedzinach np. do oszacowania wartości nieruchomości, samochodu, do analizy rynku papierów wartościowych, w medycynie do oszacowania stanu zdrowia i w wielu innych dziedzinach.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Dempsfer A.P., A generalization of Bayesian inference, *Journal of the Royal Statistical Society Series*, 30, 2, 1968, 205-247.
- [2] Dymowa L., Figat P., Róg P., Opracowanie metody i oprogramowania dla zagadnienia optymalizowanego wyboru gatunku stali konstrukcyjnej, *Materiały konferencji KomPlasTech2003*, 2003, s. 25-32.
- [3] Dymowa L., Figat P., Sewastjanow P., Zenkowa A., System wspomaganie decyzji na podstawie wiedzy rozmytej, XIV Górska Szkoła PTI, Szczyrk 2002, 24-28 czerwca 2002, 217-225.
- [4] Dymowa L., Figat P., Zenkowa A., Metoda i oprogramowanie do oceny wielokryterialnej i wielopoziomowej decyzji w warunkach niepewności rozmytej, III Krajowa Konferencja *Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim*, Kraków, 19-21 listopada, 2001, 575-576.
- [5] Dymowa L., Zenkowa A., Figat P., Komputerowy system wspomaganie decyzji przy wyborze projektów inwestycyjnych, *Informatyka Teoretyczna i Stosowana*, 2001, 1, 1, 109-118.
- [6] Figat P., Łapeta J., Metodyka oceny kontraktu w przedsiębiorstwie metalurgicznym, XV Górska Szkoła PTI, Szczyrk 2003, 23-27 czerwca 2003, II, 53-62.
- [7] Rocznik Statystyczny 2001, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2002.
- [8] Roy B., *Methodologie Multicriterie a Aide a la decision*, Economica, Paris, 1985.
- [9] Saaty T., A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. of Mathematical Psychology*, 15, 1977, 59-62.
- [10] Saaty T., A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *J. of Mathematical Psychology*, 15, 3, 1977, 234-281.
- [11] Saaty T., An exposition of the AHP in reply to the paper *Remarks on the Analytic Hierarchy process*, *Management Science*, 36, 3, 1990, 259-268.
- [12] Saaty T., Eigenvector and logarithmic least squares, *European Journal of Operation Research*, 48, 1990, 156-160.
- [13] Saaty T., *The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburg, PA.
- [14] Sewastjanow P., Tumanow N., Wielokryterialna identyfikacja i optymalizacja procesów technologicznych, *Nauka i technika*, Mińsk, 1990. (Po rosyjsku).
- [15] Sewastjanow P., Wykorzystanie metody wielokryterialnej optymalizacji w systemach projektowania automatycznego procesów i urządzeń, *Metale kolorowe*, 8, 1988, 104-106. (Po rosyjsku).
- [16] Shafer G., *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, Princeton, 1976.
- [17] Spronk J., *Interactive Multiple Goal Programming Application to Financial Planning*, Martinus Nijho Publishing, Boston, 1981.
- [18] Vincke Ph., *Multicriteria Decision Aid*, Wiley, New York, 1992.
- [19] Weck M., Klocke F., Schell H., Rüenauer E., Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method, *European Journal of Operational Research* Volume:100, Issue: 2 July, 16, 1997, 351-366.
- [20] Zadeh L.A., *Fuzzy Sets*, *Inf. Contr.*, 1965, 8, 338-358.
- [21] Zollo G., Iandoli L., Cannavacciuolo A., The Performance Requirements Analysis with Fuzzy Logic, *Fuzzy Economic Review*, 1999, IV, 1, 35-69.
- [22] Zopounidis C., Multicriteria decision aid in financial management, *European Journal of Operational Research*, 119, 1999, 404-415.
- [23] Jędruszek Robert Analiza poziomu życia w poszczególnych województwach z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych, Praca magisterska
- [24] Zadeh L.A., Out line of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEE Trans on Systems, man and Cybernetics* 1973, vol 3, pp 28-44.