

Wielkość pompowni melioracyjnych jako kryterium ich klasyfikacji

dr inż. Michał Napierała, dr hab. inż. Jerzy Bykowski, prof. UP
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

mgr inż. Wojciech Sałabun
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

W literaturze opisano szereg sposobów podziału pompowni melioracyjnych, jednak w praktyce nie znalazły one powszechnego uznania. W artykule zaproponowano więc nietypowe podejście do ich klasyfikacji.



To nietypowe podejście opiera się na wykorzystaniu wrażenia ogólnego osoby oceniającej, zweryfikowanego procedurą analityczną. Zastosowano w tym celu jedną z wielokryterialnych metod podejmowania decyzji (MCDM), opartą na mechanizmach logiki rozmytej, noszącą nazwę metody obiektów charakterystycznych (COMET).

Zastosowanie metod wielokryterialnych

Metody wielokryterialnego podejmowania decyzji (z ang. MCDM – multi-criteria-decision-making) umożliwiają agregowanie wielu kryteriów w celu oceny rozważanych obiektów. Metody te ułatwiają uzyskanie rozwiązań złożonych problemów badawczych, dzięki usystematyzowanemu zintegrowaniu wiedzy eksperta. Przykładowo, sformułowanie „duża pompownia” może być postrzegane w różny sposób, w zależności od rozmiaru i konstrukcji budowli, ilości i gabarytów pomp, ich mocy czy zasięgu oddziaływania. W literaturze naukowej taka ocena jest najczęściej dokonywana przez zastosowanie jednej z wielu modyfikacji metod wielokryterialnych: AHP, TOPSIS, ELECTRE. W tego typu metodach wyniki są ściśle uzależnione od liczby oraz wartości atrybutów rozważanych obiektów poddawanych ewaluacji. Przykładowo, ocena obiektu A będzie miała inną wartość, gdy będzie on oceniany w grupie składającej się kolejno z 2, 3, 4 czy n obiektów. Oznacza to, że w przypadku oceny kolejnego nowego obiektu cała procedura oceny musiałaby zostać powtórzona od nowa, a uprzednio uzyskane wyniki uległyby zmianie. Zmiana wartości może być na tyle wysoka, że zmieni się nawet kolejność ocenionych obiektów (tzw. *rank reversal*). Przyczyną tego jest stosowanie we wszystkich wspomnianych metodach funkcji liniowych, które wykorzystują w całej domenie rozwiązywanego problemu stałe wartości wagowe poszczególnych atrybutów kryterialnych. Dlatego też na bazie

tych obserwacji zaproponowano w niniejszej pracy wykonanie obliczeń metodą obiektów charakterystycznych COMET. Badania oparto na informacji zebranej z 16 wojewódzkich Zarządów Melioracji i Urzędów Wodnych, administrujących łącznie 586 pompowniami melioracyjnymi. Analizy przeprowadzono w oparciu o trzy podstawowe parametry pompowni, tj.: łączną wydajność pomp Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), moc całkowitą agregatów P (kW) oraz powierzchnię odwadniania Fp (ha). Analizą objęto zbiór losowo wybranych 270 stacji pompowych, stanowiących nieco ponad 45% ogólnej liczby pompowni melioracyjnych w Polsce.

Kilka słów o zastosowanej metodycie

Zaproponowane podejście wymaga przeprowadzenia pięciu etapów postępowania. Na początku zdefiniowano przestrzeń problemu, określając jego wymiarowość i wskazanie liczby rozpatrywanych kryteriów. Problem wielkości został zdefiniowany w niniejszej pracy w oparciu o wspomniane wcześniej parametry podstawowe (Q , P , Fp). Wizualizację analizowanych obiektów przedstawiono w przestrzeni trójwymiarowej (rys. 1). Dzięki temu możliwe było lepsze zaobserwowanie charakterystyk zależności pomiędzy poszczególnymi obiektami poddawanyymi ewaluacji.

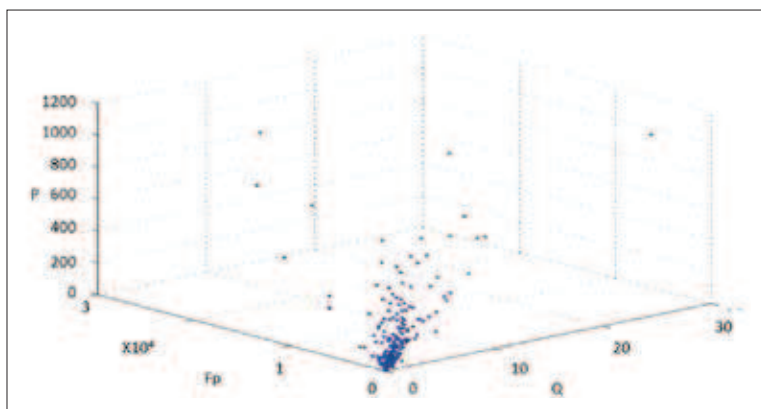
Możliwe jest również rzutowanie wielkości parametrów na poszczególne podprzestrzenie, co jest szczególnie przydatne w momencie, gdy jego wymiarowość przekracza liczbę trzech kryteriów. Nie ma bowiem wówczas możliwości jednoczesnego ich wizualizowania. Największa zależność liniowa występuje pomiędzy mocą P a wydajnością pomp Q (współczynnik korelacji Pearsona 0,8632), a najmniejsza pomiędzy powierzchnią oddziaływania Fp i wydajnością pomp Q (współczynnik korelacji Pearsona 0,4753). Wysoki współczynnik korelacji pomiędzy parametrami P i Q wynika z równania na moc pompy:

$$P_2 = \frac{\rho g Q H}{\eta_c} [\text{kW}]$$

gdzie: P_2 – moc pompy na wale [kW], Q – wydajność [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], H – wysokość podnoszenia [m], ρ – gęstość cieczy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]; η_c – sprawność całkowita układu pompowego.

Oznacza to, że wpływ istotności wysokości podnoszenia H i sprawności η_c na poziom zdefiniowania wielkości pompowni jest niewielki. Natomiast na współczynnik korelacji pomiędzy powierzchnią oddziaływania Fp i wydajnością pomp Q mogą mieć wpływ inne czynniki, takie jak np.: ukształtowanie terenu, rodzaj gleb czy też sposób gospodarowania na obszarze oddziaływania pompowni.

Do dalszej analizy wyznaczono domenę dla każdego rozpatrywanego kryterium (parametru), na podstawie wiedzy eksperta oraz charakterystyk rozpatrywanych obiektów. W ten sposób ustalono dolną



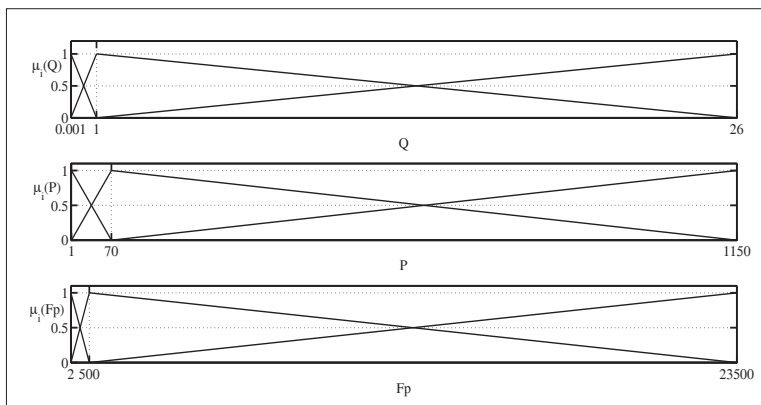
RYS. 1

Wizualizacja charakterystyk 270 analizowanych pompowni melioracyjnych w przestrzeni stanu problemu

Nazwa kryterium	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Wydajność Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	0,001	26
Łączna moc pomp P [kW]	1	1150
Powierzchnia oddziaływania Fp [ha]	2	23500

TAB. 1

Wartości graniczne dla trzech rozpatrywanych kryteriów definiujących ich domeny



RYS. 2

Funkcje przynależności opisujące trójkątne liczby rozmyte dla wydajności pomp Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], łącznej mocy pomp P [kW] oraz powierzchni oddziaływania Fp [ha]

oraz górną granicę wartości poszczególnych atrybutów, dla których stworzony model jest w stanie oszacować wartość oceny (tab. 1).

Są to jednocześnie podstawowe wartości charakterystyczne rozpatrywanych kryteriów. Liczba obiektów charakterystycznych, jakie mogą być wygenerowane z wyżej wymienionej wartości, jest równa łącznemu iloczynowi liczby tych wartości, czyli w analizowanym przypadku to 8. W celu zwiększenia dokładności modelu kolejne wartości charakterystyczne zostały wskazane przez eksperta, w oparciu o dane z rys. 1. W ten sposób, dla każdego kryterium wyznaczana jest wartość typowa, która stanowi wartość środkową z danego rozkładu. Na tej podstawie wyznaczone zostały funkcje przynależności, które wykorzystano później na etapie wnioskowania. Funkcje przynależności dla poszczególnych kryteriów przedstawiono na rys. 2.

W drugim etapie, na podstawie wartości typowych oraz wartości granicznych, określonych zostało 27 obiektów charakterystycznych. Wartości te obliczone

Obiekt charakterystyczny	Q	Fp	P	S	R	K
CO ₁	0,001	2	1	0,0	23	0 ^{0/22}
CO ₂	0,001	2	70	3,5	20	3 ^{3/22}
CO ₃	0,001	2	1150	10,0	14	9 ^{9/22}
CO ₄	0,001	500	1	6,0	18	5 ^{5/22}
CO ₅	0,001	500	70	9,0	15	8 ^{8/22}
CO ₆	0,001	500	1150	17,0	6	17 ^{17/22}
CO ₇	0,001	23500	1	11,5	11	12 ^{12/22}
CO ₈	0,001	23500	70	16,5	7	16 ^{16/22}
CO ₉	0,001	23500	1150	23,0	2	21 ^{21/22}
CO ₁₀	1	2	1	1,0	22	1 ^{1/22}
CO ₁₁	1	2	70	3,0	21	2 ^{2/22}
CO ₁₂	1	2	1150	11,0	12	11 ^{11/22}
CO ₁₃	1	500	1	6,5	17	6 ^{6/22}
CO ₁₄	1	500	70	10,5	13	10 ^{10/22}
CO ₁₅	1	500	1150	16,5	7	16 ^{16/22}
CO ₁₆	1	23500	1	14,5	8	15 ^{15/22}
CO ₁₇	1	23500	70	19,0	5	18 ^{18/22}
CO ₁₈	1	23500	1150	23,0	2	21 ^{21/22}
CO ₁₉	26	2	1	5,5	19	4 ^{4/22}
CO ₂₀	26	2	70	7,5	16	7 ^{7/22}
CO ₂₁	26	2	1150	14,0	9	14 ^{14/22}
CO ₂₂	26	500	1	13,5	10	13 ^{13/22}
CO ₂₃	26	500	70	17,0	6	17 ^{17/22}
CO ₂₄	26	500	1150	22,5	3	20 ^{20/22}
CO ₂₅	26	23500	1	20,5	4	19 ^{19/22}
CO ₂₆	26	23500	70	23,0	2	21 ^{21/22}
CO ₂₇	26	23500	1150	26,0	1	22 ^{22/22}

TAB. 2
Zestawienie wyników obliczeń
S – suma punktów uzyskanych w turnieju obiektów charakterystycznych
R – miejsce w rankingu obiektów charakterystycznych, K – ocena wielkości pompowni (1 – pompownia największa, 0 – pompownia najmniejsza)

W przypadku problemów z podjęciem decyzji każdemu obiektowi przyznaje się po pół punktu. W wyniku przeprowadzonego „turnieju” doszło do 351 porównań. Nie ma potrzeby porównywać dwóch tych samych obiektów (dlatego liczba porównań wynosi 351, a nie 378). Po zakończeniu „turnieju” punkty dla każdego obiektu charakterystycznego są sumowane. Najwięcej punktów (26) otrzymał obiekt nr 27, charakterystyczny, który określa największą możliwą pompownię melioracyjną w rozważanej przestrzeni. Najmniej punktów (0) otrzymuje pierwszy obiekt charakterystyczny, który określa jednocześnie najmniejszą pompownię. Szczegółowe zestawienie zsumowanych punktów zamieszczono w kolumnie S w tabeli 2.

Na tej podstawie ustalony został ranking R obiektów charakterystycznych. Pierwsze miejsce otrzymuje obiekt największy, a ostatnie najmniejszy. Obiekty charakterystyczne nr 9, 18, 26 mają identyczną sumę punktów, dlatego też zajmują one w równej mierze drugie miejsce. W efekcie takich remisów ranking zawiera 23 miejsca, a nie 27.

W czwartym etapie analizy każdy obiekt charakterystyczny, wraz z jego aproksymowaną wartością preferencji, przekształcony został w regułę rozmytą, zgodnie z formułą:

$$IF CO_i THEN P_i,$$

W ten sposób otrzymano bazę reguł, które definiują model rozmyty wielkości pompowni melioracyjnych. Baza ta składa się z 27 reguł:

$$R_1: IF Q \sim 0,001 AND Fp \sim 2 AND P \sim 1 THEN 0,22$$

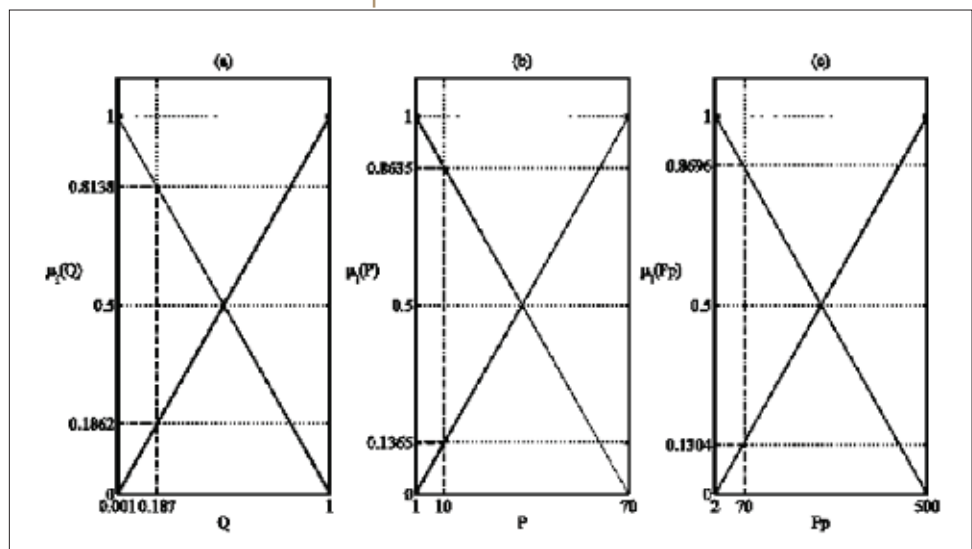
$$R_{27}: IF Q \sim 26 AND Fp \sim 23500 AND P \sim 1150 THEN 1$$

Ostatni, 5. etap analizowanej metody, polega na zastosowaniu uzyskanego modelu do oceny rzeczywi-

zostały jako iloczyn kartezjański trzech zbiorów reprezentujących kolejne kryteria. Przykładowo, pierwszy obiekt charakterystyczny to kombinacja $Q_1 = 0,001 [m^3 \cdot s^{-1}]$, $P_1 = 1 [kW]$, $Fp_1 = 2 [ha]$, drugi odpowiada kombinacji $Q_2 = 0,001 [m^3 \cdot s^{-1}]$, $P_2 = 70 [kW]$, $Fp_2 = 2 [ha]$, a trzeci to kombinacja $Q_3 = 0,001 [m^3 \cdot s^{-1}]$, $P_3 = 1150 [kW]$, $Fp_3 = 2 [ha]$. Z podanego przykładu widać wyraźnie, że w grupie obiektów charakterystycznych znajdują się pompownie, których konfiguracja z technicznego punktu widzenia nie ma uzasadnienia (obiekty abstrakcyjne). Obecność tych obiektów jest jednak potrzebna, gdyż pozwala w łatwiejszy sposób porównać ze sobą rzeczywiste pompownie melioracyjne, pomiędzy którymi zaistniałe różnice są niewielkie.

Na etapie trzecim analizy dochodzi do ewaluacji obiektów charakterystycznych. W tym celu każdy obiekt charakterystyczny został porównany przez eksperta ze wszystkimi pozostałymi obiektami charakterystycznymi. Jeżeli wielkość jednego z obiektów referencyjnych jest większa, to otrzymuje on jeden punkt, natomiast drugi obiekt referencyjny – zero punktów.

RYS. 3
Graficzne wyznaczenie stopni przynależności dla atrybutów pompowni Bródki, (a) wydajność pomp Q ($m^3 \cdot s^{-1}$), (b) powierzchnia oddziaływania Fp (ha), (c) łączna moc pomp P (kW)



Reguła	R_1	R_2	R_4	R_5	R_{10}	R_{11}	R_{13}	R_{14}
Wartość oceny	0,000	0,136	0,227	0,363	0,045	0,090	0,272	0,454
Stopień aktywacji	0,611	0,091	0,096	0,014	0,139	0,021	0,022	0,003
Ocena częściowa	0,000	0,012	0,0220	0,0053	0,0064	0,0019	0,0060	0,0015

TAB. 3
Zestawienie wyników obliczeń dla pompowni Bródki

stych obiektów. Do oceny wybrano losowo pompownię Bródka, o parametrach: $Q = 0,187 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $P = 10 \text{ kW}$, $Fp = 70 \text{ ha}$. Przy ocenie tego obiektu aktywowanych jest 8 reguł: R_1 , R_2 , R_4 , R_5 , R_{10} , R_{11} , R_{13} oraz R_{14} . Stopnie przynależności dla wszystkich rozważanych parametrów pompowni Bródki zostały wyznaczone w sposób graficzny na rys. 3.

Przykładowo, łączna moc P pompowni Bródki wynosi 10 kW, co oznacza przynależności do wartości ~ 1 , w stopniu 0,8635 oraz 0,1365, do wartości ~ 70 . Im większy poziom podobieństwa do ocenianego obiektu posiada reguła, tym wyższy stopień jej aktywacji. Stopnie aktywacji poszczególnych reguł są wyliczane jako iloczyny stopni przynależności poszczególnych wartości. Oceny częściowe uzyskuje się poprzez wymnożenie wartości oceny K przez stopień aktywacji, zaś ocena końcowa stanowi sumę wszystkich ocen częściowych. Zestawienie aktywowanych reguł, stopni ich aktywacji oraz ocen częściowych dla pompowni Bródki przedstawiono w tabeli 3.

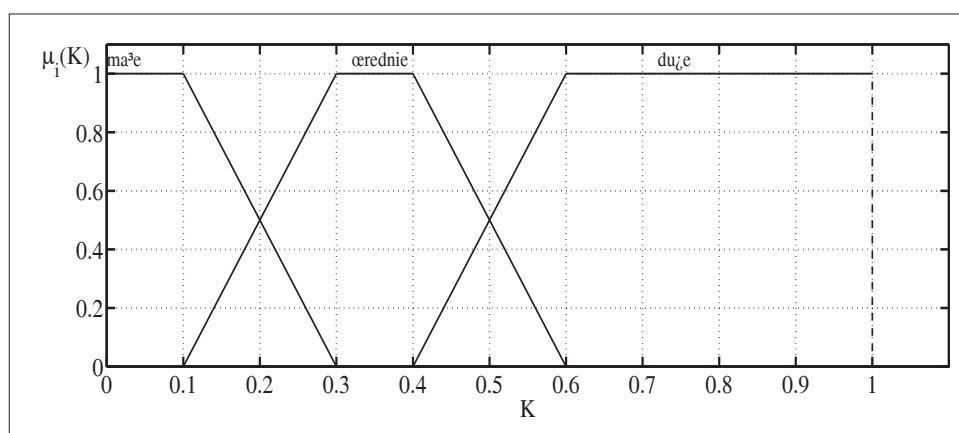
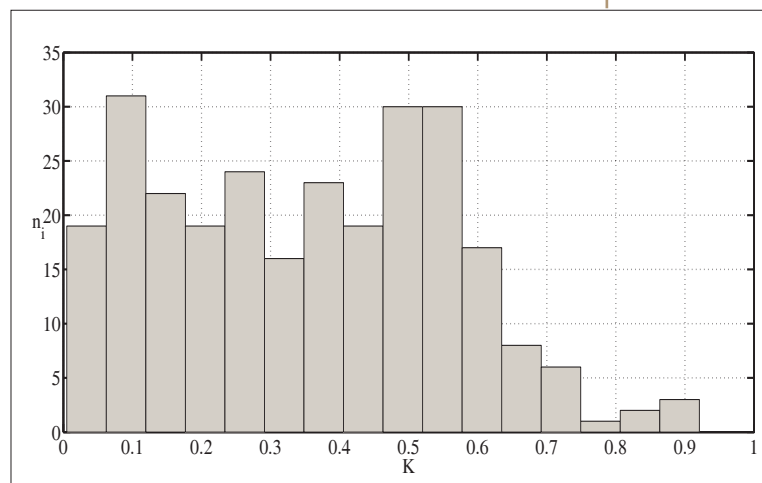
Na podstawie zidentyfikowanego modelu dokonano oceny wielkości analizowanych 270 pompowni melioracyjnych, a rozkład wyników dla tej grupy przedstawiono na rys. 4.

Uzyskany model pozwala również na ocenę pozostałych pompowni, które nie zostały uwzględnione w poniższym badaniu. Nie wymaga to ponownego zastosowania całej procedury metody COMET, gdyż wystarczy przeprowadzić dla dodatkowych obiektów etap 5. Na tym etapie dochodzi wyłącznie do wnioskowania na podstawie wcześniej zidentyfikowanego modelu. Zaprezentowany na rys. 4 rozkład ułatwia zatem określenie wartości lingwistycznych: „mały”, „średni”, „duży”, przeznaczonych do opisu wielkości pompowni melioracyjnych. Na początku należy określić, kiedy z całą pewnością możemy stwierdzić, że mamy do czynienia z odpowiednio małą, średnią lub dużą pompownią. Ekspert zakłada, że pompownie o ocenie poniżej 0,1 z całą pewnością są małe, od 0,3 do 0,4 – są średnie, a powyżej 0,6 – to duże obiekty. Na tej podstawie na rys. 5 przedstawiono funkcje przynależności do tych trzech wartości lingwistycznych z wykorzystaniem liczb rozmytych trapezoidalnych.

Wobec tak zdefiniowanych wartości lingwistycznych dokonano klasyfikacji wcześniej ocenionych

270 pompowni melioracyjnych. Spośród tej liczby, 41 pompowni w całości przynależy do określenia „mała”, 33 obiekty można określić jako średnie, a 29 jako duże. Pozostałe 167 pompowni posiada dwa niezerowe stopnie przynależności do dwóch wartości

RYŚ. 4
Rozkład wartości oceny wielkości 270 wybranych losowo pompowni na terenie Polski pod względem ich wielkości



RYŚ. 5
Definicje funkcji przynależności wartości lingwistycznych „mały”, „średni”, „duży”, odnoszących się do pompowni melioracyjnych na terenie Polski

lingwistycznych. Oznacza to, że ich charakterystyki wskazują na podobieństwo (w różnym stopniu) do dwóch sąsiadujących ze sobą wartości lingwistycznych, 77 pompowni posiada niezerową przynależność do wartości lingwistycznej „mała” oraz „średnia”, a 90 do „średnia” oraz „duża”. Obiekty te uzyskały ocenę, która należy do przedziału od 0,1 do 0,3 lub od 0,4 do 0,6. Zastosowana metoda COMET zapewnia powtarzalność wyników i ich niezmiennosc przy zastosowaniu trzech podstawowych parametrów pompowni. W ten sposób dowolna liczba pompowni melioracyjnych, należąca do przestrzeni rozważań problemu, może zostać poddana ocenie istotności, na podstawie której zostanie ona następnie sklasyfikowana do odpowiednich pojęć lingwistycznych, z odpowiednim stopniem podobieństwa.