

Ryszarda IWANEJKO, Barbara BUDZIŁO

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska  
Politechnika Krakowska*

## **METODA WYBORU TYPU POWIERZCHNIOWEGO UJĘCIA WODY ZASILAJĄCEGO WODOCIĄGI POLSKI POŁUDNIOWEJ**

### **SELECTION OF THE SURFACE WATER INTAKE, SUPPLYING WATER IN THE SOUTHERN POLAND REGION**

*Water supply systems delivering water to the communities located in Southern Poland are most often supplied with surface waters. Catchments show low retention and high elevation drops. Operation of such intakes has its specific features (significant fluctuation of a water level and turbidity, occasional violent storms, dragged or swepted materials, frazile ice). In recent years capacity of the existing water intakes has to increase due to connections of newly acquired water consumers. Selection of the most suitable type of a water intake requires consideration of different, sometimes contradictory, criteria. The best method, in which both qualitative and quantitative criteria can be included, is the Analytic Hierarchy Process (AHP) method.*

## **1. Wprowadzenie**

W ciągu ostatnich lat przedsiębiorstwa wodociągowe (PW) działające na terenie Polski południowej stają coraz częściej przed koniecznością przebudowy ujęć wody w celu zwiększenia dostaw wody do swoich odbiorców. Fakt ten wynika głównie z poszerzania obszarów działania PW i podłączania nowych odbiorców oraz ze starzenia się i wzrostu zawodności istniejących ujęć wody. Wobec dużego „zagęszczenia” niewielkich miejscowości i ograniczonych możliwości pozyskiwania nowych źródeł wody, konieczne staje się lepsze wykorzystanie istniejących, dotychczas eksploatowanych źródeł. Problem był już wcześniej poruszany przez Autorki [2,4]. Zwrócono uwagę na specyficzne warunki pracy takich ujęć. Zazwyczaj ujmowanymi wodami są wody powierzchniowe, najczęściej są to płytkie potoki górskie o znacznych wahanach poziomów wody (nieregularne, gwałtowne deszcze; mała retencja zlewni) i okresowo wysokiej mętności, dużej ilości materiału wleczonego i unoszonego oraz o okresowym występowaniu zjawisk śrężowo – lodowych. W takich warunkach ze względów technicznych pod uwagę mogą być brane następujące typy ujęć wody: drenażowe, zatopione, progowe i ujęcia zespolone (kombinowane). Spośród możliwych typów ujęć, należy dokonać wyboru takiego,

które będzie najlepsze w danych warunkach, tj. będzie spełniać odpowiednie, zazwyczaj przeciwstawne, kryteria. W sytuacji, gdy wyboru należy dokonać spośród wielu wariantów projektowych, a nie istnieje wariant, który byłby najlepszy ze względu na wszystkie kryteria równocześnie, to preferowaną metodą wspomagającą wybór jest metoda hierarchicznego wyboru AHP (Analytical Hierarchy Process). Pozwala ona ująć nie tylko kryteria ilościowe (jak np. koszty) ale również kryteria jakościowe (jak np. podatność na modernizację) oraz umożliwia uwzględnienie w ocenie ważności poszczególnych kryteriów, zależnych od aktualnej sytuacji PW preferencji decydenta.

## 2. Idea metody AHP

Idea metody polega na podziale całego problemu wyboru na poszczególne etapy, w których należy:

- 1) sformułować zadanie, a więc:
  - a) przyjąć zbiór kryteriów, które będą uwzględniać istotne atrybuty wariantów projektowych, a więc będą w istotny sposób wpływać na końcowe uszeregowanie wariantów i wybór najlepszego z nich,
  - b) określić zbiór wariantów projektowych, spośród których należy dokonać wyboru rozwiązania,
- 2) dokonać odrębnych ocen na poziomach kryteriów i wariantów, tj.:
  - a) dokonać oceny ważności kryteriów poprzez przypisanie im wag; etap ten jest przeprowadzany przez decydenta (np. Zarząd PW)
  - b) dokonać tzw. ocen cząstkowych wszystkich wariantów projektowych ze względu na każde kryterium osobno; etap ten jest przeprowadzany przez eksperta (ekspertów),
- 3) określić sposób wyznaczenia oceny globalnej (tzw. agregacji) pozwalającej na uszeregowanie wszystkich wariantów projektowych z uwzględnieniem ważności kryteriów i ocen cząstkowych wariantów ze względu na te kryteria.

Zadania drugiego etapu (2a, 2b) są rozwiązywane w analogiczny sposób. W dalszej części jako obiekt należy rozumieć odpowiednio kryterium lub wariant. Sposób szeregowania obiektów w ramach jednego zadania jest następujący. Osoba wykonująca zadanie (decydent lub ekspert) dokonuje porównań parami wszystkich uwzględnianych w danej analizie obiektów zgodnie ze skalą preferencji Saaty'ego [8]. Im bardziej  $i$ -ty obiekt jest preferowany w stosunku do  $j$ -tego obiektu, tym wyższą wartość należy nadać współczynnikowi macierzy porównań  $a_{ij}$ . Przykładowo, przyjmuje się  $a_{ij}=1$  gdy obiekty są równoważne z punktu widzenia przeprowadzanej analizy. Natomiast przyjmuje się  $a_{ij}=9$  gdy obiekt  $i$ -ty jest bezwzględnie lepszy od  $j$ -tego. Ponadto musi zachodzić warunek wzajemności tj.  $a_{ji} = a_{ij}$ . Dokonując porównań zakłada się, że wyznaczone w ten sposób wyrazy macierzy porównań  $\mathbf{A} = (a_{ij})_{ij}$  są równe

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

gdzie  $\omega_i, \omega_j$  są nieznanymi wagami ważności danych obiektów ze względu na przeprowadzane porównanie. Wykazano [8], że te wagi są współrzednymi tzw. wektora własnego macierzy porównań

$$A\omega = \lambda\omega \quad (2)$$

gdzie  $\lambda$  - wartość własna macierzy odpowiadająca wektorowi własnemu  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ . Określanie wyrazów macierzy porównań  $a_{ij}$  może być obarczone pewnymi błędami wynikającymi z trudności i niedoskonałości umysłu ludzkiego przy analizie dużych zadań. Tę tzw. zasadę niespójności sformułował L.Zaldehy, twórca logiki rozmytej mówiąc, że „ w miarę wzrostu złożoności sytuacji 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”. Przyjmuje się, że precyzyjnie można jeszcze opisać system o liczbie elementów  $7 \pm 2$ . Zawsze jednak istnieje możliwość skonstruowania macierzy niespójnej, zawierającej sprzeczne informacje. Dlatego w metodzie AHP jako miarę oceny zgodności elementów macierzy porównań przyjmuje się dwa wskaźniki [8,10]: wskaźnik zgodności CI (Consistency Index) oraz stosunek zgodności CR (Consistency Ratio) określone wzorami

$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$  oraz  $CR = \frac{CI}{RI}$ , gdzie RI – wartość stała dla danego n, określona jako średnia wskaźników zgodności dla różnych grup decydentów [7]. Dopuszcza się przy tym pewne niespójności wyrażone nierównościami  $CI < 0,1$  oraz  $CR < 0,1$ . W przypadku znaczących niespójności ( $CI \geq 0,1$  lub  $CR \geq 0,1$ ) konieczna jest weryfikacja ocen porównania parami. Wyznaczone w ten pośredni sposób wagi  $(\omega_i)_i$  dają większą gwarancję prawidłowej oceny niż wagi podawane wprost w sposób bezpośredni.

Ostatni 3-ci etap metody polega na określeniu globalnej reguły agregacji H. Spośród wielu możliwości [3] najczęściej stosuje się formułę liniową postaci

$$H(W_i) = \sum \omega_{Kj} \cdot \omega_{W_i|Kj} \quad (3)$$

gdzie  $\omega_{Kj}$  - waga j-tego kryterium wyznaczona na podstawie macierzy porównań decydenta,  $\omega_{W_i|Kj}$  - waga i-tego wariantu ze względu na j-tego kryterium, wyznaczona na podstawie macierzy porównań eksperta.

### 3. Przykład zastosowania

W pewnej miejscowości konieczna jest budowa nowego ujęcia wody. Jako kryteria wyboru najlepszego typu ujęcia przyjęto:

K1 – możliwie najdłuższy czas poprawnej pracy między awariami,

K2 – możliwie niskie koszty inwestycyjne,

K3 – możliwie najlepsza ochrona narybku i ryb z gatunku pstrągowatych,

K4 – możliwie najlepsza ochrona narybku i ryb z gatunku węgorzowatych,

K5 – możliwie najlepsza ochrona przed skutkami zjawisk śróżowo-lodowych,

K6 – możliwie najlepsze zabezpieczenie przed skutkami ujmowania wody o wysokiej mętności.

Kryterium K1 odzwierciedla żądanie wysokiej niezawodności ujęcia. Poprzednio, w podobnych analizach [4] przyjmowano kryterium najwyższej niezawodności, której miarą był stacjonarny wskaźnik gotowości ujęcia K. Tutaj analizuje się warianty spełniające wymóg  $K \geq K_w$ , gdzie  $K_w$  – wymagany poziom niezawodności ujęcia (na podstawie odrębnych analiz z uwzględnieniem struktury systemu określono  $K_w=0,991158$ ). Równocześnie średnie czasy niesprawności badanych wariantów wykazują niewielkie, praktycznie nieistotne zróżnicowanie (od 22 do 24,5 [h]), natomiast średnie czasy poprawnej pracy między awariami dla poszczególnych wariantów mieszczą się w szerokim zakresie 2799,6 - 3576,1 [h]. Dlatego takie przyjęcie kryterium K1 uznano za odpowiednie.

Kryterium K2 odnosi się do jednorazowych nakładów, których poniesienie jest konieczne do realizacji zadania. Kryterium K6 odnosi się do kosztów eksploatacyjnych, gdyż ujmowanie wody o podwyższonej mętności oznacza droższy proces koagulacji czyli zwiększenie kosztów w uzdatnianiu wody.

Kryteria K3 i K4 to nowe kryteria pro-ekologiczne. Po wprowadzeniu w Polsce ustawy o ochronie narybku i ryb wodociągi powinny przy budowie nowych i modernizacji istniejących ujęć uwzględniać ochronę ichtiofauny. Te kryteria zostały sformułowane dla gatunków ryb o odmiennych sposobach pływania. Kryteria dotyczące prędkości wlotowej w wytycznych kanadyjskich [1] opracowane dla potrzeb małych ujęć wody, o wydajności do 125 dm<sup>3</sup>/s oraz ochrony narybku o długości 25 mm, uzależniają dopuszczalną prędkość wlotową od sposobu pływania ryb. W opracowaniu [1] zestawiono najbardziej rozpowszechnione gatunki ryb, wraz z podaniem sposobu ich pływania. Wyróżniono dwa sposoby pływania:

- „pstrągowy”: dotyczy ryb, które pływają tak jak pstrąg lub łosoś poruszając jedynie tylną częścią ciała – dopuszczalna prędkość wlotowa wynosi 0,11 m/s,
- „węgorzowy”: dotyczy ryb, które pływają tak jak węgorz poruszając nawet całym swoim ciałem - dopuszczalna prędkość wlotowa wynosi 0,038 m/s.

Kryterium K5 odzwierciedla wymóg prawidłowego działania ujęcia wody przy pojawianiu się zjawisk śryżowo lodowych. Drenażowe ujęcia wody nie mają w czasie eksploatacji problemów z tymi zjawiskami. Natomiast zatopione ujęcia wody powinny mieć ograniczone prędkości wlotowe. Badania modelowe zatopionego ujęcia wody prowadzone w USA [9] przez T.J.Tantillo potwierdzają, że przy wciąganiu płytek śryżu o średnicy 3 mm, graniczna prędkość wlotowa wynosi  $v_{wl}= 0,012$ m/s. Stwierdzono także, że czernie zatopione z poszerzonym wlotem o przekroju prostokątnym wciągają 50 % mniej śryżu niż o przekroju okrągłym.

Kolejnym krokiem jest określenie zbioru wariantów projektowych. Przy następujących danych projektowych:

- nominalna wydajność  $Q_n=0,030$  [m<sup>3</sup>/s],
- próg piętrzący w cieku  $H= 1,3$  m [m],
- szerokość potoku 15,0 [m],
- mętność: do 2500 NTU,
- prędkość wlotowa  $v_{wl}= 0,01; 0,04; 0,08; 0,11$  oraz 0,15[m/s],
- wskaźnik wodoprzepuszczalności  $k=0,001$  [m/s],
- głębokość założenia drenu pod dnem cieku 1,5 [m].

wzięto pod uwagę możliwość budowy czepni typu: drenażowego założonego najczęściej metodą odkrywkową pod dnem cieku bezpośrednio w warstwie wodonośnej lub w korytach betonowych obsypanych materiałem filtracyjnym, zatopionego (typu lekkiego, rura perforowana lub rura z poszerzonym wlotem).

Do analizy przyjęto osiem różnych podstawowych rozwiązań technicznych czerpni:

1. dren założony bezpośrednio w warstwie wodonośnej,
2. dren założony w korytach betonowych i obsypany materiałem filtracyjnym,
3. rura perforowana założona pod zwierciadłem wody,
4. rura z poszerzonym wlotem założona pod zwierciadłem wody,
5. zespolonego ujęcia drenażowo-zatopionego (dren założony w gruncie i rura perforowana),
6. zespolonego ujęcia drenażowo-zatopionego (dren założony w gruncie i rura z poszerzonym wlotem),
7. zespolonego ujęcia drenażowo-zatopionego (dren założony w betonie i rura perforowana),
8. zespolonego ujęcia drenażowo-zatopionego (dren założony w korycie betonowym i rura z poszerzonym wlotem).

W zakresie rozwiązań podstawowych wariantowano szczegółowe rozwiązania. Łącznie analizie poddano 33 warianty.

Wartości atrybutów (cech) wszystkich analizowanych typów ujęć wody zestawiono w tabeli 1 [6]. Kryteria K1 i K2 są kryteriami ilościowymi, a pozostałe kryteria są jakościowe. Cechy jakościowe poddano ocenie w umownej skali 0-10. Przykładowo najlepszą ochronę narybku i ryb zapewnią małe prędkości wlotowe ( $v_{wl}$  nie przekraczające 0,04 m/s – ocena 8), a najgorszą znaczne prędkości ( $v_{wl} > 0,15$  m/s – ocena 2).

Kolejność zarówno kryteriów jak i wariantów jest przypadkowa i nie odzwierciedla preferencji decydenta.

Tab. 1. Wartości atrybutów rozważanych typów ujęć wody

Tab. 1. Values of attributes of the considered intakes types

Typ czerpni ujęcia	Wariant	Średnica [mm] lub $v_{wlot}$ [m/s]	Tp [godz]	Koszty inwest [PLN]	Ochrona			
					mętn.	pstrąg.	węgorz.	śryż
dren w gruncie	W1	Φ250	3576,1	685 826	0	8	8	8
dren w korycie betonowym	W2	Φ200	3515,2	773 598	2	8	8	8
	W3	Φ250	3576,1	685 826	2	8	8	8
zatopiona rura perforowana	W4	0,01	2799,6	712 807	4	8	8	8
	W5	0,04	2970,5	711 670	4	8	5	5
	W6	0,08	2970,5	708 971	4	8	2	4
	W7	0,11	2969,1	704 952	3	8	2	3
	W8	0,15	2970,5	707 711	3	2	2	2
zatopiona rura z poszerzeniem	W9	0,01	2799,6	712 807	3	8	8	6
	W10	0,04	2969,1	706 058	3	8	5	2
	W11	0,08	2969,1	705 086	3	8	2	2
	W12	0,11	2969,1	704 952	2	8	2	2
	W13	0,15	2969,1	704 851	2	2	2	2

Typ czepni ujęcia	Wariant	Średnica [mm] lub v_wlot [m/s]	Tp [godz]	Koszty inwest [PLN]	Ochrona			
					mętn.	pstrąg.	węgorz.	śryż
Zespolone zatopione perforowane + dren w gruncie	W14	0,01	3070,8	758 322	5	8	8	8
	W15	0,04	3538,3	734 239	5	8	5	7
	W16	0,08	3538,3	732 890	5	8	2	7
	W17	0,11	3538,2	732 522	4	8	2	7
	W18	0,15	3538,3	732 260	4	2	2	6
Zespolone zatopione lposzerzenie+ dren w gruncie	W19	0,01	3362,1	737 745	4	8	8	8
	W20	0,04	3536,6	731 433	4	8	5	6
	W21	0,08	3536,6	730 947	4	8	2	6
	W22	0,11	3536,6	730 880	3	8	2	5
	W23	0,15	3536,6	730 830	3	2	2	5
Zespolone zatopione rura perforo- wana + dren w betonie	W24	0,01	3070,8	842 258	7	8	8	8
	W25	0,04	3538,3	818 176	7	8	5	7
	W26	0,08	3538,3	816 826	7	8	2	7
	W27	0,11	3538,3	816 458	5	8	2	7
	W28	0,15	3538,3	816 196	5	2	2	6
Zespolone zatopione rura z posze- rzeniem i dren w betonie	W29	0,01	3362,1	821 681	6	8	8	7
	W30	0,04	3536,6	815 369	6	8	5	6
	W31	0,08	3536,6	814 883	6	8	2	6
	W32	0,11	3536,6	814 816	5	8	2	5
	W33	0,15	3536,6	814 766	5	2	2	5

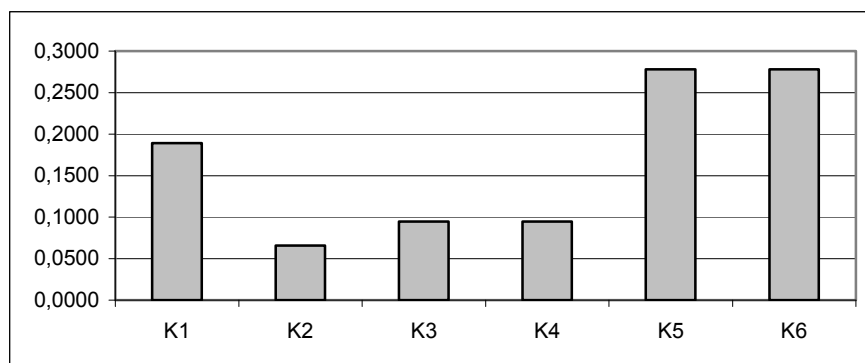
Tab. 2. Macierz porównań podana przez decydenta

Tab. 2. Array of comparisons provided by the decision maker

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	3	2	2	2/3	2/3
K2	1/3	1	2/3	2/3	1/4	1/4
K3	1/2	1,5	1	1	1/3	1/3
K4	1/2	1,5	1	1	1/3	1/3
K5	1,5	4	3	3	1	1
K6	1,5	4	3	3	1	1

W zadaniu oceny ważności kryteriów (2a) przy określaniu wyrazów macierzy porównań (tab.2), uwzględniono fakt, że ze względu na budowę typu ujęcia zapewniającego ochronę ichtiofauny, PW liczy na dofinansowanie ze strony UE, co w efekcie oznacza niższe oceny dla kryterium K2. Kryteria K5 i K6 uznano za równoważne i za ważniejsze od innych. Kryterium K5 uznano za ważne, gdyż w przypadku braku lub słabej ochrony przed skutkami zjawisk śryżowo-lodowych ujęcie nie może pracować. Kryterium K6 też uznano za ważne, bo choć możliwe jest uzdatnianie wody o podwyższonej mętności, to wiąże się to ze wzrostem kosztów procesu uzdatniania. Kryteria K3 i K4 uznano za równoważne względem siebie, nieznacznie ważniejsze względem K2, lecz mniej ważne niż K1, K5 i K6.

Po rozwiązaniu równania macierzowego uzyskano wagi kryteriów, będące współrzędnymi wektora własnego  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_7) = (0,1891; 0,0656; 0,0945; 0,0945; 0,2781; 0,2781)$  [5]. Graficznie ważność poszczególnych kryteriów przedstawiono na rys.1. Ponieważ zostały spełnione wymagane warunki zgodności ( $CI, CR < 0,0005$ ), więc macierz nie zawiera niekonsekwencji a otrzymane rozwiązanie jest poprawne. Graficznie ważność poszczególnych kryteriów przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Znormalizowane wagi odzwierciedlające ważność kryteriów w ocenie końcowej

Fig. 1. Normalized numerical weights representing priorities of criteria in the final evaluation

Następnie rozwiązano zadania cząstkowe (etap 2b). Analizowane warianty projektowe uszeregowano ze względu na każde kryterium osobno. Z uwagi na obszerność nie zamieszczano materiału wyjściowego (6 macierzy o wymiarach 33wiersze $\times$ 33 kolumny). Przy tak dużej liczbie obiektów (33 warianty) zastosowano dodatkowy aparat wspomagający zapewniający spełnienie warunków zgodności [5]. Dla wszystkich macierzy uzyskano  $CI < 0,01$ . Tutaj podano jedynie wyniki końcowe tj. unormowane wagi odzwierciedlające pozycję wariantów w uszeregowaniach ze względu na poszczególne kryteria (tab.2). W tabeli tej zestawiono również wagi wariantów w ocenie końcowej, przy czym jako funkcję agregacji H przyjęto formułę liniową daną wzorem (3).

Pozycje w uszeregowaniu (ważność) poszczególnych wariantów graficznie przedstawiono na rys. 2. Jak widać, najwyższą globalną ocenę uzyskał wariant W24 (zespolone ujęcie zatopione - dren w korycie betonowym i zatopiona rura perforowana przy  $v_{wl} = 0,01$  [m/s]). Prawie tak samo dobre są wariant W25 (zespolone ujęcie zatopione z

rurą perforowaną,  $v_{wi}=0,04$  [m/s]) i W26 (zespolone ujęcie zatopione z rurą perforowaną,  $v_{wi}=0,08$  [m/s]). Tę wysoką ocenę warianty uzyskiwały ze względu na najważniejsze w ocenie końcowej kryterium K6 (dotyczące wysokiej mętności). W tych najlepszych rozwiązaniach drenażowe ujęcie to dren w korycie betonowym. Dren ułożony w korycie betonowym ma lepszą możliwość regeneracji obsypki filtracyjnej w czasie płukania. Wariant W1 (dren założony bezpośrednio w warstwie wodonośnej), mimo iż uzyskał najlepsze oceny ze względu na 5 spośród 6 kryteriów oceny (wszystkie kryteria z wyjątkiem K6), w ocenie końcowej znalazło się na dalszym miejscu. Najgorszym okazał się wariant W13.

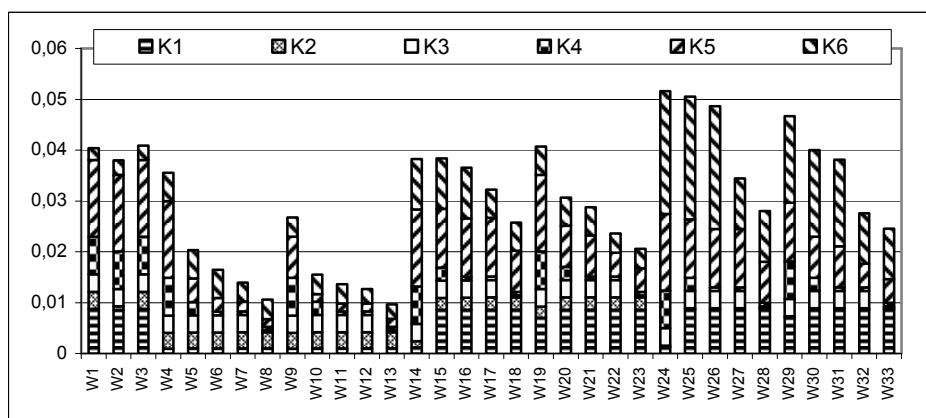
Tab. 3. Wartości wag wszystkich wariantów projektowych ze względu na poszczególne kryteria oraz ze względu na globalną regułę agregacji

Tab. 3. The values of weights of all design alternatives considering particular criteria and a global aggregation rule.

Wariant	K1	K2	K3	K4	K5	K6	H(Wi)
W1	0,0464	0,0513	0,0361	0,0783	0,0522	0,0085	0,0404
W2	0,0450	0,0112	0,0361	0,0783	0,0522	0,0102	0,0380
W3	0,0464	0,0513	0,0361	0,0783	0,0522	0,0102	0,0409
W4	0,0049	0,0475	0,0361	0,0783	0,0522	0,0200	0,0355
W5	0,0052	0,0475	0,0361	0,0272	0,0159	0,0200	0,0203
W6	0,0052	0,0478	0,0361	0,0073	0,0094	0,0200	0,0165
W7	0,0052	0,0486	0,0361	0,0073	0,0066	0,0137	0,0140
W8	0,0052	0,0481	0,0040	0,0073	0,0054	0,0137	0,0106
W9	0,0049	0,0475	0,0361	0,0783	0,0522	0,0137	0,0267
W10	0,0052	0,0483	0,0361	0,0272	0,0054	0,0137	0,0155
W11	0,0052	0,0486	0,0361	0,0073	0,0054	0,0137	0,0136
W12	0,0052	0,0486	0,0361	0,0073	0,0054	0,0102	0,0127
W13	0,0052	0,0486	0,0040	0,0073	0,0054	0,0102	0,0096
W14	0,0064	0,0181	0,0361	0,0783	0,0522	0,0358	0,0382
W15	0,0452	0,0363	0,0361	0,0272	0,0401	0,0358	0,0384
W16	0,0452	0,0370	0,0361	0,0073	0,0401	0,0358	0,0365
W17	0,0452	0,0381	0,0361	0,0073	0,0401	0,0200	0,0322
W18	0,0452	0,0381	0,0040	0,0073	0,0278	0,0200	0,0258
W19	0,0369	0,0344	0,0361	0,0783	0,0522	0,0200	0,0407
W20	0,0452	0,0381	0,0361	0,0272	0,0278	0,0200	0,0307
W21	0,0452	0,0381	0,0361	0,0073	0,0278	0,0200	0,0288
W22	0,0452	0,0381	0,0361	0,0073	0,0159	0,0137	0,0236



Wariant	K1	K2	K3	K4	K5	K6	H(Wi)
W23	0,0452	0,0381	0,0040	0,0073	0,0159	0,0137	0,0206
W24	0,0064	0,0050	0,0361	0,0783	0,0522	0,0869	0,0516
W25	0,0452	0,0051	0,0361	0,0272	0,0401	0,0869	0,0506
W26	0,0452	0,0051	0,0361	0,0073	0,0401	0,0869	0,0487
W27	0,0452	0,0051	0,0361	0,0073	0,0401	0,0358	0,0344
W28	0,0452	0,0051	0,0040	0,0073	0,0278	0,0358	0,0280
W29	0,0369	0,0051	0,0361	0,0783	0,0522	0,0613	0,0467
W30	0,0452	0,0051	0,0361	0,0272	0,0278	0,0613	0,0400
W31	0,0452	0,0051	0,0361	0,0073	0,0278	0,0613	0,0381
W32	0,0452	0,0051	0,0361	0,0073	0,0159	0,0358	0,0276
W33	0,0452	0,0051	0,0040	0,0073	0,0159	0,0358	0,0246



Rys.2. Oceny końcowe wariantów po zastosowaniu liniowej reguły agregacji z uwzględnieniem wpływu poszczególnych kryteriów cząstkowych

Fig.2. The final hierarchy of alternatives after a linear aggregation rule (with an impact of sub-criteria)

#### 4. Podsumowanie

Dla złożonych problemów wyboru (wiele nierównoważnych, czasami sprzecznych kryteriów; kryteria ilościowe i jakościowe równocześnie; wiele wariantów projektowych) najlepszą metodą wspomagającą podjęcie decyzji wydaje się być metoda hierarchicznego wyboru AHP. Metoda umożliwia uwzględnienie, zależnych od aktualnej sytuacji, preferen-

cje decydenta. Końcowym rezultatem zastosowania metody jest ranking (uszeregowanie) wariantów ze względu na wszystkie kryteria łącznie.

Oceny uzyskane na poszczególnych etapach (tj. ocena ważności kryteriów, oceny wariantów ze względu na kryteria) nie są bezpośrednie, lecz są uzyskiwane na podstawie procesu porównywania parami poszczególnych obiektów. Pełną stopniowalność przy porównywaniu zapewnia skala Saaty'ego. Ocena poprawności porównań stanowi wartość dwóch wskaźników (CI, CR). Ich wysokie wartości świadczą o niekonsekwencjach porównań i oznaczają konieczność weryfikacji macierzy porównań. Równocześnie dopuszcza się pewne niewielkie niezgodności (CI, CR<0,1).

Metoda AHP okazała się przydatna do wspomagania procesu decyzyjnego w zakresie doboru najlepszego dla danych warunków rozwiązania ujęcia wody powierzchniowej.

## Bibliografia

- [1] Freshwater Intake End-of-Pipe Fish Screen Guideline. Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario, Canada, 1995.
- [2] Iwanejko R., Application of a Multicriterion Model In Selection of a Surface Water Intake for a Small Community In the Southern Poland, *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 16, No. 2A, Part III, 2007, 777-780
- [3] Iwanejko R., Rybicki S.M., Praktyczne aspekty stosowania metody hierarchicznego wyboru AHP w zagadnieniach zaopatrzenia w wodę, Materiały VIII Międzynarodowej (XX Krajowej) Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Poznań - Gniezno 2008, ss.481-492
- [4] Iwanejko R., Budziło B., Wybór typu ujęcia wody powierzchniowej w warunkach Polski południowej, *INSTAL* 10/2008, 70-73
- [5] Iwanejko R, AHP – program realizujący metodę hierarchicznego wyboru dla problemów wieloobektowych, Kraków 2009.
- [6] Program ATEN-UjW wyboru najtańszego rozwiązania z uwzględnieniem czynników niezawodnościowych, ekonomicznych i hydraulicznych. Autorzy: B.Budziło, Z.Milian, J.Filimowski, A.Polok-Kowalska i in, Kraków 2007
- [7] Rolad H.A., Moriarty B., System Safety Engineering And Management, Jon Wiley & Sons. Inc., ss 336-339, 1990,
- [8] Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York, Mc-Graw Hill, 1980
- [9] Tantillo T.J. Hydraulic model study of a water intake under frazil ice conditions *Journal WPCE* vol.54. nr 12, 1981
- [10] Żak J., Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2005, ss.46-73