

WYKORZYSTANIE METODY AHP W PROCESIE ROZWIĄZYWANIA ZDAŃ WIELOKRYTERIALNYCH – STUDIUM PRZYPADKU

THE USE OF AHP METHOD IN THE MULTI-CRITERIA TASK SOLVING PROCESS – CASE STUDY

Zygmunt KORBAN, Marek PROFASKA
Politechnika Śląska

Streszczenie: W procesie podejmowania decyzji mamy do czynienia zarówno z zadaniami jedno- jak i wielokryterialnymi. W większości przypadków wybór rozwiązania sprowadza się do wyznaczenia „najlepszej” decyzji (najczęściej wg subiektywnej oceny), bądź też do uporządkowania zbioru decyzji. Metoda Analytic Hierarchy Process (AHP) jest jedną z metod stosowanych do oceny cech jakościowych w procesach optymalizacji wielokryterialnej. W artykule omówiono możliwości zastosowania ww. metody na przykładzie zakupu wyposażenia technicznego jednego ze składowisk odpadów komunalnych zlokalizowanych na obszarze woj. śląskiego.

Słowa kluczowe: proces podejmowania decyzji, metoda Analytic Hierarchy Process (AHP)

1. WPROWADZENIE

Podejmowanie decyzji jest nieodłącznym elementem świadomego działania każdego człowieka. Jest to proces złożony, który swym zakresem obejmuje:

- identyfikację problemu,
- sformułowanie celu działania,
- określenie wariantów decyzyjnych (możliwych do zaakceptowania),
- określenie skutków wyboru wariantu (-ów) wraz z identyfikacją ich pozytywnych lub negatywnych konsekwencji,
- wybór wariantu optymalnego,
- analizę wrażliwości przyjętego rozwiązania.

W procesie podejmowania decyzji, w przypadku dążenia do osiągnięcia jednego celu mamy do czynienia z modelem jednokryterialnym, w przypadku zaś gdy rozpatrujemy osiągnięcie dwu lub więcej celów – z modelem wielokryterialnym. Rozwiązaniem zadań decyzyjnych jest z reguły zbiór decyzji dopuszczalnych, który jest podzbiorem przestrzeni decyzyjnej, zaś zbiór wszystkich wyników jakie można uzyskać (biorąc pod uwagę wszystkie możliwe rozwiązania dopuszczalne w przestrzeni decyzyjnej z uwzględnieniem zadanego kryterium) określamy mianem zbioru rozwiązań dopuszczalnych w przestrzeni kryterium. Rolą decydenta jest więc wybór najlepszego jego zdaniem (odpowiadającego jego preferencjom) wariantu. Należy jednak pamiętać, że cele które decydent chce osiągnąć mogą (ale nie muszą) być ze sobą sprzeczne (cele konfliktowe), zaś rozwiązanie zdecydowanie lepsze od pozostałych (tzw. rozwiązanie dominujące) najczęściej występuje rzadko. Podejmowanie decyzji następuje w oparciu o wskazane przez decydenta kryteria decyzyjne (zbiór kryteriów), zaś jako narzędzia wykorzystywane w tych przypadkach mogą służyć wielokryterialne metody dyskretne.

2. ANALITYCZNY PROCES HIERARCHICZNY – OPIS METODY

Analityczny Proces Hierarchiczny (Analytic Hierarchy Process) to jedna z metod matematycznych stosowanych w zakresie rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Metoda opracowana w 1970 roku jest zaliczana do amerykańskiej szkoły

wielokryterialnego podejmowania decyzji (MCDM) [6]. Istotą metody opracowanej przez Thomasa L. Satiego [2] jest to, że zarówno warianty decyzyjne, jak i same kryteria porównywane są parami względem siebie – wskaźnik względnej istotności czynnika kryterium K_i nad K_j wyraża parametr a_{ij} stanowiący iloraz w/w wskaźników $a_{ij} = \frac{r_i}{r_j}$ (r_i – ranga bezwzględna (znaczenie) kryterium K_i , r_j – ranga bezwzględna (znaczenie) kryterium K_j dla $ij = 1,2,3,\dots$), któremu z kolei przyporządkowana jest ocena werbalna oraz wartość liczbowa (tabela 1).

Tabela 1
Skala ocen wykorzystywana w metodzie Analytic Hierarchy Process [8]

Ocena werbalna (wariant a w porównaniu do wariantu b ze względu na zdefiniowane kryterium)	Ocena numeryczna
Ekstremalnie	9
Bardzo silnie do ekstremalnie	8
Bardzo silnie	7
Silnie do bardzo silnie	6
Silnie	5
Umiarkowanie do silnie	4
Umiarkowanie	3
Równoważnie do umiarkowanie	2
równoważne	1

Algorytm postępowania w metodzie AHP stanowią zatem cztery etapy [5, 8, 9]:

1. Budowa modelu hierarchicznego. Dekompozycja problemu decyzyjnego i budowa hierarchii czynników (kryteriów) wpływających na rozwiązanie problemu.
2. Określenie dominacji (preferencji) czynników głównych.
3. Określenie dominacji wariantów. Określenie wzajemnych priorytetów (istotności) w odniesieniu do kryteriów i wariantów decyzyjnych.
4. Klasyfikacja wariantów decyzyjnych i interpretacja wyników.

W przypadku metody AHP należy pamiętać iż jest ona przydatna zwłaszcza w procesach wyboru wariantów decyzyjnych kiedy mamy do czynienia z jakościowymi kryteriami ocen zaś ryzyko uzyskania wyników obarczonych subiektywnością osądu jest niemałe.

3. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Zakład Gospodarki Odpadami – 1R eksploatuje miejskie składowisko odpadów komunalnych o powierzchni ok. 32 tys. km² zlokalizowane w północno-zachodniej części województwa śląskiego. W grupie materiałów zdeponowanych na składowisku wymienić można m. in.:

- odpady z tworzyw sztucznych – kod odpadu 07 02 13,
- odpadowe tonery drukarskie (głowice laserowe i kopiarkowe) – kod odpadu 08 03 18,
- odpady z toczenia i piłowania żelaza oraz jego stopów – kod odpadu 12 01 01,
- emulsje olejowe nie zawierające związków chlorowcoorganicznych – kod odpadu 13 01 05,
- mineralne oleje hydrauliczne nie zawierające związków chlorowcoorganicznych – kod odpadu 13 01 10,
- baterie i akumulatory ołowiane – kod odpadu 16 06 01,
- gruz – kod odpadu 17 01 07.

W przypadku tego zakładu, jak i każdego innego prowadzącego podobną działalność najlepszym sposobem zmniejszania objętości odpadów jest ich zagęszczanie (przeciętna

gęstość odpadów komunalnych wynosi 350 kg/m^3 a po zagęszczeniu kompaktorem¹ - około 1200 kg/m^3 do 2500 kg/m^3), które eliminuje konieczność codziennego pokrywania śmieci warstwą przesypaną i ogranicza wytwarzanie gazów biologicznych. Z uwagi na powierzchnię wysypiska i ilość dostarczanych odpadów podjęta została decyzja zakupu dodatkowego kompaktora. Określone zostały zatem cechy będące przedmiotem oceny wielokryterialnej:

1. nakłady finansowe,
2. dzienny tonaż dostarczanych odpadów,
3. odległość przemieszczania odpadów przy rozgarnianiu,
4. rodzaj odpadów,
5. bezpieczeństwo i komfort pracy operatora obsługującego kompaktor (wzmocniona kabina typu ROPS – FOPS, klimatyzacja i odpowiednie filtry, izolujące operatora od szkodliwych i agresywnych substancji emitowanych przez wysypisko),
6. warunki gwarancyjne i serwis (w tym także dostępność części zamiennych).

Proces decyzyjny przebiegał dwufazowo:

- w ramach pierwszej fazy w odniesieniu do trzech pierwszych cech (cech mierzalnych) zastosowano miernik rozwoju – w ten sposób wyselekcjonowane zostały 3 warianty (Kaelble vg27, Tana G 450 i Cat 826G);
- w ramach fazy drugiej w odniesieniu do wyselekcjonowanych wariantów zastosowano wielokryterialną metodę dyskretną AHP oceniając przy jej pomocy cechy jakościowe (cechy nr 4-6) wybranych w ramach fazy pierwszej, porównywalnych ze względu na parametry techniczne maszyn, tj. kompaktora Kaelble vg27, Tana G 450 i Cat 826G.

Porównanie parami ważności kryteriów jakościowych przedstawia tabela 2 i 3. Porównanie wariantów rozwiązań ze względu na przyjęte kryteria jakościowe przedstawia tabela 4 i 5.

Tabela 2

Porównanie parami ważności kryteriów jakościowych ocen (wartości nieunormowane)

	RO²	BiKPO³	WGiS⁴
RO	1,000	2,000	3,500
BiKOP	0,500	1,000	1,000
WGiS	0,286	1,000	1,000

Tabela 3

Porównanie parami ważności kryteriów jakościowych ocen (wartości unormowane⁵)

	RO	BiKPO	WGiS	Wartość średnia
RO	0,560	0,500	0,636	0,565
BiKOP	0,280	0,250	0,182	0,237
WGiS	0,160	0,250	0,182	0,197

¹ kompaktor to maszyna przeznaczona do rozścielania (rozgarniania) oraz rozdrabniania i zagęszczania podłoża wysypisk składowisk odpadów.

² RO - rodzaj odpadów.

³ BiKPO – bezpieczeństwo i komfort pracy operatora obsługującego kompaktor.

⁴ WGiS - warunki gwarancyjne i serwis.

⁵ w procesie normowania ocen zastosowano przekształcenia ilorazowe.

Tabela 4

Macierz porównawcza wariantów rozwiązań technicznych ze względu na przyjęte kryteria jakościowe (wartości nieunormowane)

RO				BiKPO				WGiS			
	w I	w II	w III		w I	w II	w III		w I	w II	w III
w I	1,000	1,000	1,000	w I	1,000	2,000	0,500	w I	1,000	1,000	0,250
w II	1,000	1,000	0,500	w II	0,500	1,000	0,500	w II	1,000	1,000	0,333
w III	1,000	2,000	1,000	w III	2,000	2,000	1,000	w III	4,000	3,000	1,000
Suma	3,000	4,000	2,500	Suma	3,500	5,000	2,000	Suma	6,000	5,000	1,583

Tabela 5

Macierz porównawcza wariantów rozwiązań technicznych ze względu na przyjęte kryteria jakościowe (wartości unormowane)

RO				BiKPO				WGiS			
	w I	w II	w III		w I	w II	w III		w I	w II	w III
w I	0,333	0,250	0,400	w I	0,286	0,400	0,250	w I	0,167	0,200	0,158
w II	0,333	0,250	0,200	w II	0,143	0,200	0,250	w II	0,167	0,200	0,211
w III	0,333	0,500	0,400	w III	0,571	0,400	0,500	w III	0,667	0,600	0,632

Wyznaczony współczynnik zgodności c , wskazujący na stopień zgodności przeprowadzonych porównań jest wystarczający ($c \leq 0,1$).

Uzyskane wartości pozwoliły na wyznaczenie częściowych rankingów oraz ocen ważności (względnych wag) dla przyjętych kryteriów (tabela 6).

Tabela 6

Zbiorcze zestawienie rankingów częściowych kryteriów jakościowych oraz ich ocen ważności

	0,565	0,237	0,197
	RO	BiKPO	WGiS
Wariant I	0,328	0,312	0,175
Wariant II	0,261	0,198	0,192
Wariant III	0,411	0,490	0,633

Zatem, względne wagi dla rankingu końcowego wynoszą odpowiednio:

- dla wariantu I – 0,294;
- dla wariantu II – 0,232;
- dla wariantu III – 0,473.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w przypadku cech jakościowych rozwiązaniem dominującym (sugerowanym) jest wariant III, tj. zakup kompaktora Cat 826G.

4. WNIOSKI

Podjęmowane przez decydenta wyzwania mają w przeważającej mierze charakter probabilistyczny. Podejmowanie decyzji, będące swoistego rodzaju wyzwaniem jest więc związane z ryzykiem (konsekwencje decyzji są niejednokrotnie trudne do przewidzenia), którego zmniejszenie wymaga zarówno dostępu do informacji pewnej, aktualnej i możliwie wyczerpującej, jak również – stosowania metod i technik umożliwiających przetwarzanie posiadanych zasobów danych i informacji. Dlatego też coraz częściej w procesach decyzyjnych wykorzystywane są zarówno metody oceny jakościowej [1] i metody badań operacyjnych. Do tej drugiej grupy zaliczyć należy m. in. wielokryterialne metody dyskretne, w tym także metodę Analytic Hierarchy Process (AHP), w której przyjęte kryteria i możliwe

warianty decyzyjne porównywane są parami. W omawianym przykładzie po przeanalizowaniu cech ilościowych (nakłady finansowe związane z zakupem kompaktora, dzienny tonaż dostarczanych odpadów, odległość przemieszczania odpadów przy rozgarnianiu) dokonano wyboru modelu kompaktora biorąc pod uwagę trzelementowy zbiór cech jakościowych (rodzaj zagęszczanych odpadów, bezpieczeństwo i komfort pracy operatora obsługującego kompaktor oraz warunki gwarancyjne i serwis). Niestety wybór wariantu decyzyjnego w przypadku metody AHP jest obciążony subiektywnością osądu oceniającego, który – jest jednym z zarzutów stawianych metodzie AHP. Uwagi krytyczne w stosunku do wspomnianej metody dotyczą ponadto [2, 3, 4, 7]:

- braku teoretycznych podstaw wykorzystywanych w procesie konstruowania hierarchii, co stwarza możliwości tworzenia różnych hierarchii i tym samym może prowadzić do różnych rozwiązań;
- błędów w procedurze agregacji ocen;
- braku dostatecznego potwierdzenia wyników w badaniach statystycznych.

Także dodanie nowego kryterium, wobec którego wszystkie warianty są równoważne ma istotny wpływ zarówno na zagregowane wagi wariantów, jak i na ranking końcowy.

Mając jednak na uwadze to iż decyzje dotyczące prac inwestycyjnych są realizowane z reguły przez osoby mające odpowiednie przygotowanie formalne (wykształcenie) i najczęściej długoletni staż pracy, można przyjąć, że margines błędu jest możliwy do zaakceptowania, a dokonany wybór będzie spełniał oczekiwania użytkownika.

5. LITERATURA

- [1] Belkina N.: Qualimetrical Evaluation of Educational Achievements. *Management Systems in Production Engineering*. 2013, No 2(10), s. 8-11.
- [2] Dyer, J. S.: Remarks on the Analytic Hierarchy Process. *W: Management Science*, 36 (3), 1990, s. 249-258.
- [3] McCaffrey J. ; Test Run - The Analytic Hierarchy Process. „MSDN Magazine”, 06. 2005.
- [4] Mikhalevic M. V.: Remarks on the Dyer-Saaty controversy *Cybernetics and Systems Analysis*, Volume 30, No.1 / 01, 1994.
- [5] Kozioł W., Piotrowski Z., Pomykała R., Machniak Ł., Baic I., Witkowska-Kita B., Lutyński A., Blaschke W.: Zastosowanie analitycznego procesu hierarchicznego (AHP) do wielokryterialnej oceny innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa kamiennego. *Rocznik Ochrona Środowiska*, Tom 13, 2011, s. 1619-1634.
- [6] Omkarprasad S. Vaidya, Sushil Kumar.: Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*. Volume 169. 1, 2006, s. 1-29.
- [7] Przybyła H., Korban Z.: Wielowariantowa ocena doboru rozwiązań technicznych przy wykorzystaniu metody AHP. *Moderni matematické metody v inženýrství*. (Sborník z 19. semináře. Vysoká Škola Báňská-Technická Univerzita Ostrava. Dolní Lomná. 2010, s. 108-112.
- [8] Saaty T. L.: A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. Vol. 15 No. 3, 1977, s. 234-281.
- [9] Saaty T. L.: How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operatiuna Research*. 48, 1990, s. 9-26.