

Ocena innowacyjności technologii zagospodarowywania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego – metoda AHP

(wg J. Kabiesz, J. Makówka, R. Patyńska, „Ocena innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów górnictwa węgla kamiennego metodą AHP (Analytic Hierarchy Process)”, praca niepublikowana)

Metoda hierarchicznej analizy problemu (AHP - *ang.* Analytic Hierarchy Process), opracowana przez Saaty'ego służy przede wszystkim do wspomagania wyboru wariantów decyzyjnych. Wariantami tymi mogą być obiekty fizyczne, np. maszyny, produkty, itp., jak i pewne stany reprezentowane przez warianty projektowe lub realizacyjne, które prowadzą do osiągnięcia określonych stanów (jakości, bezpieczeństwa, ryzyka). Ponieważ ocena wariantów stanowi fazę przeddecyzyjną, za pomocą metody AHP jest także możliwe dokonywanie oceny diagnostycznej lub porównawczej rozważanych obiektów.

Analiza metodą AHP opiera się na zdaniu wybranych ekspertów, dokonujących subiektywnej oceny poszczególnych kryteriów i wariantów postępowania (tu: technologii zagospodarowania odpadów). Od wiedzy i doświadczenia ekspertów zależy wartość dokonanych wyborów. Do zespołu tego zaproszono specjalistów w zakresie górnictwa, przeróbki surowców, gospodarki odpadami oraz inżynierii środowiska. Reprezentowali oni wiodące ośrodki naukowe specjalizujące się w poruszanych zagadnieniach, przemysł górniczy oraz przedsiębiorstwa zajmujące się m.in. zagospodarowaniem odpadów, rekultywacją terenów oraz produkcją kruszyw.

Zgodnie z tokiem postępowania, właściwym dla oceny innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów górnictwa węgla kamiennego metodą AHP, ustalono hierarchiczną strukturę analizowanego zagadnienia w następującej postaci:

- cel nadrzędny: ocena poziomu nowoczesności technologii wybranych w analizach wstępnych,
- czynniki główne: przyjęte kryteria nadrzędne,
- czynniki cząstkowe: zweryfikowane w ramach realizacji projektu kryteria szczegółowe (subkryteria),
- warianty, obiekty: oceniane technologie wyłonione w projekcie jako rozwojowe i upowszechnione.

Kryteria (ogólne i szczegółowe) zostały sformułowane w następującej postaci:

- A. Kryterium obecnego poziomu technologicznego (technicznego) w odniesieniu do innych zawansowanych dziedzin techniki (materiały, informatyka, organizacja, automatyzacja)
 - A1. Poziom zmechanizowania operacji technologicznych;
 - A2. Poziom automatyzacji i zdalnej kontroli procesu technologicznego;
 - A3. Możliwość stosowania technologii dla różnych rodzajów odpadów;
 - A4. Podatność na modernizację wynikająca z rozwoju technologii i stosowanych maszyn;
 - A5. Poziom produktu technologii i jego pozycja na rynku.
- B. Kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych
 - B1. Możliwość stosowania technologii przy zmieniających się właściwościach odpadów górnictwa węgla kamiennego;
 - B2. Zapewnienie maksymalnego wykorzystania odpadów;
 - B3. Dostępność odpadów;
 - B4. Możliwość pozyskania różnych produktów;
 - B5. Możliwość pozyskania produktów o zróżnicowanej jakości.
- C. Kryterium uniwersalności technologii w odniesieniu do techniki i warunków ich stosowania
 - C1. Odporność technologii na zakłócenia spowodowane czynnikami losowymi;
 - C2. Zapewnienie regularności i ciągłości dostaw odpadów;
 - C3. Uniwersalność wykorzystania systemów mechanizacji i automatyzacji procesu do różnych rodzajów odpadów;
 - C4. Czas i koszt adaptacji systemów mechanizacji i automatyzacji procesu przy zmianie rodzaju przetwarzanego odpadu;
 - C5. Możliwość dostosowania systemu do partii odpadów o różnych wielkościach.
- D. Kryterium minimalizacji wpływu na środowisko
 - D1. Możliwość całkowitego zagospodarowania odpadów;
 - D2. Emisja zanieczyszczeń do środowiska z procesu technologicznego;
 - D3. Zużycie energii w procesie przetwarzania odpadów;
 - D4. Możliwość monitorowania emisji zanieczyszczeń;
 - D5. Poziom zmian krajobrazowych miejsca lokalizacji zakładu przetwarzającego odpady.

- E. Kryterium bezpieczeństwa rozumianego jako bezpieczeństwo ludzi i procesu technologicznego
- E1. Poziom występujących zagrożeń w procesie technologicznym;
 - E2. Możliwość monitorowania i ograniczenia zagrożeń występujących w procesie technologicznym;
 - E3. Bezpieczeństwo technologii ze względu na czynniki losowe;
 - E4. Możliwość wprowadzenia pełnej automatyzacji procesu technologicznego;
 - E5. Bezpieczeństwo obsługi i zapewnienie komfortu pracy.

Ocenę innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów górnictwa węgla kamiennego przeprowadzono dla 24 technologii ocenionych jako rozpowszechnione i rozwojowe, zestawionych w 5 grupach tematycznych odzwierciedlających kierunki ich gospodarczego wykorzystania:

GRUPA I - Budownictwo hydrotechniczne, ziemne, rekultywacja terenów.

GRUPA II - Roboty likwidacyjne w kopalniach węgla kamiennego.

GRUPA III - Podsadzanie wyrobisk eksploatacyjnych.

GRUPA IV - Kruszywa, ceramika.

GRUPA V - Odzysk substancji węglowej.

Ocena przebiegała w kilku etapach. W pierwszym z nich dokonano porównywania między sobą kryteria ogólne ze względu na poziom innowacyjności. Następnie, w podobny sposób oceniono kryteria szczegółowe w ramach kryteriów ogólnych. Kolejnym krokiem, a zarazem najważniejszym punktem analizy, było porównywanie parami, między sobą technologii zagospodarowania odpadów, należących do odpowiednich grup nadrzędnych (Grupy I-V) ze względu na kryteria ogólne, a następnie szczegółowe. Były to podstawowe zadania dla wytypowanych ekspertów. Przykładowy arkusz oceny technologii względem kryterium szczegółowego A1 kryterium nadrzędnego A przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Arkusz oceny dla porównania parami technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego należących do grupy II ze względu na kryterium szczegółowe A1 kryterium nadrzędnego A

	Ważność									
	absolutna	patrozo	wyraźna	wyraźna	nieznaczna	jednakowa	nieznaczna	wyraźna	patrozo	
Zmienna	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Zmienna
<i>Technologia A.</i>			5							<i>Technologia B</i>
				3						<i>Technologia C</i>
							5			<i>Technologia D</i>
								7		<i>Technologia E</i>
	9									<i>Technologia F</i>
<i>Technologia B</i>		7								<i>Technologia C</i>
							5			<i>Technologia D</i>
									9	<i>Technologia E</i>
	9									<i>Technologia F</i>
<i>Technologia C</i>		7								<i>Technologia D</i>
							5			<i>Technologia E</i>
						3				<i>Technologia F</i>
<i>Technologia D</i>				3						<i>Technologia E</i>
		7								<i>Technologia F</i>

Uzyskane oceny poddane zostały analizie zgodnie z zasadami metody AHP. W tym celu dla każdej z tabel ocen wyznaczono macierz porównań wg schematu:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} = 1 & a_{12} & \Lambda & a_{1n} \\ a_{21} = \frac{1}{a_{12}} & 1 & \Lambda & a_{2n} \\ M & M & \Lambda & M \\ a_{n1} = \frac{1}{a_{1n}} & a_{2n} = \frac{1}{a_{2n}} & \Lambda & a_{nn} = 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie: A – macierz kwadratowa o n elementach a_{ij} , a_{ij} – wartości ocen (lub ich odwrotności) stopnia preferencji kryteriów i technologii zagospodarowania odpadów.

Przykładową macierz porównań dla tabeli ocen (tabela 1) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Przykładowa macierz porównań utworzona na bazie tabeli ocen (tabela 1)

	A	B	C	D	E	F
A	1	3/4	2	1 5/7	1/2	5/9
B	1 1/3	1	2 2/9	2	5/8	5/9
C	1/2	4/9	1	1	1/2	1/2
D	4/7	1/2	1	1	1/2	2/5
E	1 7/8	1 3/5	2	2 1/9	1	1
F	1 4/5	1 5/6	2	2 1/2	1	1
Suma	7,087167	6,125923	10,05898	10,4614732	4,107312	4,039558

W kolejnym kroku dla każdej macierzy porównań obliczano wartość wektora priorytetów oraz maksymalną wartość macierzy, wg następujących formuł:

Wartości macierzy znormalizowanej:

$$\bar{w}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

Wektor priorytetów cząstkowych:

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n \bar{w}_{ij} a_{ij} \quad (3)$$

gdzie:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{w}_{ij}}{n} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Maksymalna wartość własna macierzy:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{w_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (5)$$

Przykładowe wartości wektora priorytetu (wagi) oraz maksymalną wartość własną macierzy ze względu na kryterium szczegółowe A1 kryterium nadrzędnego A przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości wektora priorytetu (wagi) oraz maksymalna wartość własna macierzy ze względu na kryterium szczegółowe A1 kryterium nadrzędnego A

	A	B	C	D	E	F	Wektor priorytetu	λ
A	0,141	0,124	0,196	0,164	0,130	0,137	0,149	1,053
B	0,186	0,163	0,221	0,194	0,152	0,136	0,175	1,074
C	0,072	0,073	0,099	0,103	0,124	0,126	0,099	1,001
D	0,082	0,081	0,092	0,096	0,116	0,098	0,094	0,983
E	0,264	0,262	0,196	0,201	0,243	0,256	0,237	0,974
F	0,255	0,297	0,196	0,242	0,235	0,248	0,246	0,992
Suma	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6,077

Uzyskane wagi dla poszczególnych wariantów porównań posłużyły do przygotowania hierarchii ważności kryteriów oraz technologii zagospodarowania odpadów.

W pierwszej kolejności dokonano ocen ważności kryteriów nadrzędnych oraz kryteriów szczegółowych w ramach kryteriów nadrzędnych. Za najważniejsze kryterium nadrzędne eksperci uznali kryterium „E: bezpieczeństwa rozumianego jako bezpieczeństwo ludzi i procesu technologicznego”.

W ocenie innowacyjności uwzględniono najważniejsze okoliczności mające obecnie, jak również w przyszłości, wpływ na tę właściwość analizowanych technologii. Stanowią one charakterystyki samych analizowanych technologii jak również zostały ujęte w istocie sformułowanych i uwzględnianych w analizie kryteriów.

Technologie uznane przez ekspertów za najbardziej innowacyjne w poszczególnych grupach to:

- Grupa I technologia IB — Zagospodarowanie odpadów przerobczych do rekultywacji technicznej terenów zdegradowanych;
- Grupa II technologia IIA — Zagospodarowanie skały płonnej do likwidacji pustek po eksploatacji resztek pokładów;
- Grupa III technologia IIIB — Zagospodarowanie odpadów flotacyjnych w podsadzce samo zestalającej, równorzędnie z III A — Zagospodarowanie skały płonnej jako materiału w technologii zawieszinowej
- Grupa IV technologia IVE — Produkcja kruszyw z odpadów pozyskiwanych z hałdy oraz instalacji przeróbki;
- Grupa V technologia VF — Pozyskiwanie węgla z odpadów drobnoziarnistych i poflotacyjnych zdeponowanych w stawach osadowych.

Podsumowanie

Metoda AHP jest często wykorzystywana w sytuacji konieczności wyboru jednego spośród wielu rozwiązań. W ogólnej ocenie wykazała swoją przydatność również w zakresie oceny technologii zagospodarowania odpadów. Ocena z wykorzystaniem tej metody pozwoliła na wybór najbardziej innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Nie we wszystkich przypadkach rankingi wynikowe odpowiadają praktyce w zakresie popularności tych technologii. Jednak, jak to zaznaczono na wstępie, za przejaw innowacyjności uznano zdolność technologii do adoptowania i wykorzystywania najnowszych rozwiązań technicznych, technologicznych, organizacyjnych.

Doświadczenia w zakresie zastosowania metody AHP, jako narzędzia w bardzo złożonym procesie wyboru, poparte również opiniami ekspertów, pozwalają na sformułowanie kilku uwag, pomocnych dla podobnych zastosowań w przyszłości. Przed przystąpieniem do właściwej fazy oceny należy pamiętać, że metoda AHP wymaga:

- określenia kryteriów oceny odpowiadających oczekiwanym rezultatom,
- bardzo dokładnego przygotowania ocenianych wariantów pod względem jednorodności opisu,
- wyraźnego rozdzielenia alternatywnych rozwiązań, pozwalających na ustalenie ich hierarchii,
- wytypowani eksperci powinni charakteryzować się specjalistyczną wiedzą w zakresie analizowanego przedmiotu, popartą doświadczeniem.