

Monika Kolendo • Łukasz Kolendo

# MODEL DECYZYJNY WIELOKRYTERIALEJ METODY HIERARCHII ANALITYCZNEJ (AHP) WE WSPOMAGANIU WYBORU LOKALIZACJI SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH (NA PRZYKŁADZIE WYBRANEJ CZĘŚCI POWIATU BIAŁOSTOCKIEGO)

---

Monika Kolendo, mgr inż. – Politechnika Białostocka

Łukasz Kolendo, mgr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

e-mail: lukasz.kolendo@gmail.com

## ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) DECISION MODEL TO SUPPORT MUNICIPAL LANDFILL SITE SELECTION (USING AS AN EXAMPLE A SELECTED PART OF DISTRICT OF BIAŁYSTOK)

**SUMMARY:** Municipal landfill site selection is one of complicated and multicriteria decision making problem, requiring consideration of many legal, economic, environmental and social factors. Integration of many criteria, quantitative and quality, forces the decision-maker to seek of the most effective tools to solve the problem. The tool to decision making is combination of GIS techniques with AHP method. Analytical Hierarchy Process (AHP) allows to select the most suitable localization variant for waste deposition. For this purpose the hierarchical structure was created as a model consisting of 4 main criteria, 17 sub-criteria and the scale of influence. The paper presents an example of using AHP method to evaluate of localization variants for waste deposition from part of the district of Białystok. The results of analysis were compared with the AHP method based on paired comparisons alternatives in the light of criteria.

**KEY WORDS:** AHP, GIS, support decision, localizations of landfill sites

---

## Wstęp

Wybór lokalizacji składowisk odpadów komunalnych należy niewątpliwie do skomplikowanych procesów decyzyjnych, wymagających rozważania różnorodnych czynników. W analizie tej konieczne jest spełnienie wymagań formalnoprawnych, a także uwzględnienie aspektów technicznych, środowiskowych i społecznych, przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów budowy obiektu. Integracja różnorodnych kryteriów, zarówno ilościowych jak i jakościowych, zmusza decydenta do poszukiwania najlepszych dostępnych technik, umożliwiających rozwiązanie problemu. Idealne do tego narzędzie stanowi połączenie geograficznych systemów informacji przestrzennej (GIS) z wielokryterialną metodą hierarchii analitycznej (Analytic Hierarchy Process – AHP)<sup>1</sup>. Systemy informacji geograficznej (GIS) umożliwiają zbieranie, przechowywanie, przetwarzanie, analizowanie i prezentację danych przestrzennych pochodzących z różnych źródeł<sup>2</sup>. Metoda AHP natomiast umożliwia podejmowanie optymalnych decyzji w sytuacji występowania alternatywnych rozwiązań poprzez możliwość uwzględnienia zarówno ilościowych, jak i jakościowych aspektów danego problemu. Podstawy matematyczne tej metody zostały opracowane przez wybitnego amerykańskiego matematyka Thomasa L. Saaty'ego jeszcze w latach siedemdziesiątych XX wieku. Znajduje ona zastosowanie w wielu dziedzinach, między innymi w podejmowaniu różnorodnych decyzji lokalizacyjnych, ocenie wielofunkcyjności obszarów, innowacyjności technologii, bezpieczeństwa, czy też rozwiązywania problemów organizacyjnych i menadżerskich<sup>3</sup>.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie możliwości wykorzystania modelu decyzyjnego AHP w zakresie hierarchizacji wariantów lokalizacji składowiska odpadów na terenach predysponowanych części powiatu białostockiego oraz miasta Białystok, wygenerowanych z wykorzystaniem technik GIS<sup>4</sup>. Końcowy ranking wariantów utworzono opierając się na metodzie AHP ze skalą oddziaływania<sup>5</sup>, który następnie skonfrontowano z klasycznym ujęciem zaproponowa-

<sup>1</sup> Y. Xu, J. Sum, J. Zhang, Y. Xu, M. Zhang, X. Liao, *Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of environmental suitability for living in China's 35 major cities*, „International Journal of Geographical Information Science” 2012 nr 26 (9), s. 1603-1623.

<sup>2</sup> S.M. Issa, B.A. Shehdi, *A Gis-based multi criteria evaluation system for selection of land fill sites: a case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” 2012 nr XXXIX-B2, s. 133-138.

<sup>3</sup> A. Dietrich, *Zastosowanie metody hierarchii analitycznej (AHP) do ceny poziomu bezpieczeństwa technicznego gazociągów*, „Nafta-Gaz” 2010 nr 12, s. 1123-1131.

<sup>4</sup> M. Kolendo, Ł. Kolendo, *Model decyzyjny GIS we wspomaganii wyboru lokalizacji składowiska odpadów komunalnych (na przykładzie wybranej części powiatu białostockiego)*, „Ekonomia i Środowisko” 2013 nr 45.

<sup>5</sup> A. Wota, A. Woźniak, *Metodyka wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2008 nr 8, s. 143.

nym przez Saaty'ego<sup>6</sup>, polegającym na porównywaniu parami poszczególnych rozwiązań w świetle stosowanych kryteriów ewaluacji.

## Obszar opracowania

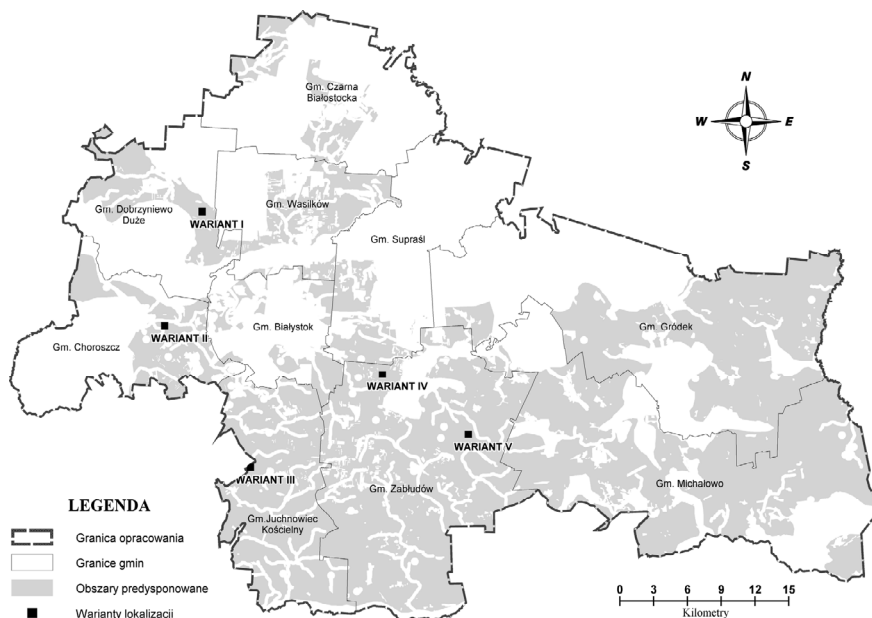
Obszar opracowania stanowi część powiatu białostockiego wraz z miastem Białystok, obsługiwane dotychczas przez Zakład Zagospodarowania Odpadów w Hryniewiczach. Teren ten poddano analizie pod kątem przydatności do funkcji składowania. W wyniku zastosowania szeregu operacji przestrzennych w środowisku GIS wykluczono blisko 55% analizowanego terenu. W kolejnym etapie analitycznym, spośród przestrzeni potencjalnie przydatnej do deponowania odpadów stałych, wytypowano pięć hipotetycznych wariantów lokalizacji składowiska odpadów (rysunek 1).

Proponowana lokalizacja wariantu I znajduje się we wschodniej części gminy Dobrzyniewo Duże i oddalona jest o 5,1 km od granic Białegostoku. Skupia ona 12 nieruchomości gruntowych, o łącznej powierzchni 19 ha. Są to tereny głównie użytkowane rolniczo, z niewielkim udziałem gruntów leśnych (22%). W promieniu 500 m od planowanej inwestycji nie odnotowano wód powierzchniowych, a najbliższa luźna zabudowa znajduje się w odległości około 600 m. Obszary cenne przyrodniczo, należące do sieci Natura 2000, oddalone są o 650 m. Drugi wariant lokalizacji składowiska odpadów położony jest przy wschodniej granicy gminy Choroszcz, 3,2 km w kierunku zachodnim od granic aglomeracji białostockiej. Występuje na przepuszczalnym, piaszczysto-żwirowym podłożu gruntów użytkowanych rolniczo. Omawiany wariant zajmuje powierzchnię 22,4 ha, skupiając łącznie 31 nieruchomości gruntowych. W obrębie omawianej lokalizacji odnotowano największe, spośród wszystkich wariantów, maksymalne nachylenie terenu równe 8,7<sup>o</sup>. Kolejny wariant obejmuje 25 nieruchomości gruntowych w gminie Juchnowiec Kościelny. Pod funkcję składowania odpadów wytypowano tam łącznie 21,2 ha terenów rolnych. Są to grunty piaszczysto-gliniaste z nieznacznym udziałem łąk, zlokalizowane w odległości 50 m od niewielkiego cieku wodnego. W promieniu 1000 m nie odnotowano infrastruktury technicznej w postaci sieci energetycznej, wodociągowej i kanalizacyjnej. Kolejne dwa warianty lokalizacji składowiska odpadów komunalnych położone są na terenie gminy Zabłudów. W jej północnej części, w odległości 3,1 km od granic Białegostoku, zlokalizowany jest wariant IV. Zajmuje on słabo przepuszczalne grunty piaszczysto-gliniaste, użytkowane rolniczo. Najbliższa luźna zabudowa znajduje się w odległości około 1200 m. Wariant V lokuje się we wschodniej części gminy Zabłudów, na powierzchni 29,9 ha. Pomimo znacznego areału, omawiany obiekt skupia łącznie 8 nieruchomości gruntowych. Elementy infrastruktury technicznej, niezbędne do funkcjonowania składowiska odpadów, oddalone są o 670 m.

<sup>6</sup> T.L. Saaty, *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*, „European Journal of Operational Research” 1990 nr 48, s. 9-26.

Rysunek 1

Rozmieszczenie wariantów lokalizacji składowiska odpadów komunalnych (wycenianych metodą AHP)



Źródło: opracowanie własne.

## AHP – podstawy metody opracowania

Obszary predysponowane do składowania odpadów komunalnych, wygenerowane z wykorzystaniem technik GIS, uznano za użyteczne, jednak w świetle stosowanych kryteriów ewaluacji, niektóre z nich mogą charakteryzować się korzystniejszymi uwarunkowaniami do pełnienia tej funkcji. Wielokryterialna metoda hierarchizacji analitycznej umożliwia przeprowadzenie wszechstronnej analizy oraz dokonanie optymalnego wyboru spośród dostępnych rozwiązań. W wyniku sprowadzenia złożonej decyzji do szeregu prostych porównań parami, a następnie syntezy rezultatów, pozwala ona na racjonalną argumentację wybranej alternatywy<sup>7</sup>.

Metoda AHP składa się z czterech podstawowych etapów. Etap pierwszy polega na budowie struktury hierarchicznej problemu, gdzie na szczycie drzewa (P I) znajduje się cel główny analizy. Poziom II (P II) reprezentują grupy głównych kryteriów: A – hydrologia i geologia; B – środowisko naturalne; C – uwarunkowania społeczne; D – uwarunkowania techniczno-ekonomiczne. Na poziomie III (P III) wymienionym grupom głównym przyporządkowano łącznie 17 subkry-

<sup>7</sup> A. Wota, A. Woźniak, *Metodyka wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2008 nr 8, s. 143.

teriów, którym na poziomie IV (P IV) przypisano przedziały liczbowe, odpowiadające skali oddziaływania poszczególnych subkryteriów na rozważane warianty. Listę subkryteriów wraz ze stopniem oddziaływania zmodyfikowano w stosunku do proponowanych przez Wotę i Woźniaka, ze względu na uwarunkowania przestrzenne badanego terenu<sup>8</sup> i możliwości analityczne. U podstawy hierarchii (P V) znajduje się pięć alternatywnych wariantów lokalizacji składowiska odpadów komunalnych, a kompletną strukturę hierarchiczną wraz ze skalą oddziaływania przedstawia rycina 2.

Uwarunkowania hydrogeologiczne i geologiczne (A) analizowano z uwagi na takie czynniki, jak:

- (A1) przepuszczalność skał [m/s];
- (A2) rodzaj gruntu;
- (A3) odległość od ujęć wód podziemnych [m].

Wśród wielu czynników środowiskowych (B), określających możliwości lokalizacji składowisk odpadów, przyjęto:

- (B1) odległość od wód powierzchniowych [m];
- (B2) obszary przyrodniczo-cenne [m];
- (B3) siedliska sieci Natura 2000 [m].

Na płaszczyźnie uwarunkowań społecznych (C) wyróżniono następujące subkryteria:

- (C1) odległość od terenów zamieszkałych [m];
- (C2) widoczność [m];
- (C3) obiekty kulturowe [m].

Kryterium techniczno-ekonomiczne (D) opisano z uwagi na:

- (D1) wartość działki [PLN/m<sup>2</sup>];
- (D2) ilość nieruchomości do wykupienia [szt.];
- (D3) powierzchnia terenu do wylesienia [ha];
- (D4) całkowita powierzchnia działki [ha];
- (D5) infrastruktura techniczna;
- (D6) odległość od granic miasta Białegostoku [km];
- (D7) współczynnik kształtu;
- (D8) maksymalne nachylenie terenu [°].

W kolejnym etapie, wykorzystując skalę ocen porównań parami według Saaty'ego (tabela 1), obliczono preferencje globalne i lokalne każdego z elementów hierarchii. Preferencje lokalne wiążą się z danym poziomem, natomiast wagi globalne oblicza się jako iloczyn preferencji czynników danego poziomu z wagami globalnymi elementów wyższego stopnia struktury problemu.

Wszystkie oceny zapisano w macierzy kwadratowej o wymiarach  $n \times n$ , gdzie  $n$  odpowiada liczbie czynników na danej płaszczyźnie. W ten sposób na poziomie drugim (P II) utworzono macierz o wymiarach  $4 \times 4$ , będącą wynikiem porównań parami kryteriów głównych (A-D) względem celu nadrzędnego, występującego na szczycie hierarchii problemu (tabela 2).

<sup>8</sup> Ibidem.

Tabela 1  
Skala ocen przyjęta w metodzie AHP według Saaty'ego

Ocena	Definicja	Objaśnienie
1	jednakowa ważność	wpływ obu porównywanych czynników (elementów) jest taki sam
3	nieznaczna przewaga	jeden z czynników jest nieznacznie ważniejszy od drugiego
5	zasadnicza przewaga	zasadnicza lub wyraźna ważność jednego czynnika nad drugim
7	bardzo mocna przewaga	wyraźna dominacja jednego czynnika nad drugim
9	absolutna przewaga	dominacja jednego czynnika nad drugim ma charakter absolutny
2, 4, 6, 8	wartości pośrednie	stosowane wtedy, gdy zachodzi potrzeba kompromisu pomiędzy dwiema sąsiednimi ocenami

Źródło: opracowanie własne na podstawie: T. L. Saaty, *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*, „European Journal of Operational Research” 1990 nr 48, s. 9-26.

Tabela 2  
Wagi globalne i lokalne kryteriów poziomu II

Wyszczególnienie	(A)	(B)	(C)	(D)	$W_c = W_l$
(A) Hydrogeologia i geologia	1	2	1/3	1/5	0,110
(B) Środowisko przyrodnicze	1/2	1	1/3	1/7	0,071
(C) Uwarunkowania społeczne	3	3	1	1/3	0,241
(D) Techniczno-ekonomiczne	5	7	3	1	0,578
(Imax = 4,06; Cl = 0,02;					Σ=1

Źródło: opracowanie własne.

W celu określenia wag globalnych i lokalnych subkryteriów z poziomu III oraz przedziałów liczbowych, odpowiadających skali oddziaływania, rozwiązano cztery macierze poziomu III (3x3, 3x3, 3x3 i 8x8) oraz 17 macierzy poziomu IV, których wymiar zależy od skali intensywności subryteriów. Wyznaczone w ten sposób preferencje globalne i lokalne przedstawia rysunek 2.

Kolejnym etapem procedury AHP jest ocena spójności rezultatów porównań parami, uzyskanych przy określaniu wpływu czynników na wybór wariantu rozwiązania. Wykorzystano do tego maksymalną wartość własną macierzy oceny ( $\lambda_{\max}$ , która powinna być zbliżona do rzędu macierzy. Następnym krokiem weryfikacji ewaluacji zgodności ocen polega na obliczeniu indeksu spójności (CI), zgodnie ze wzorem:

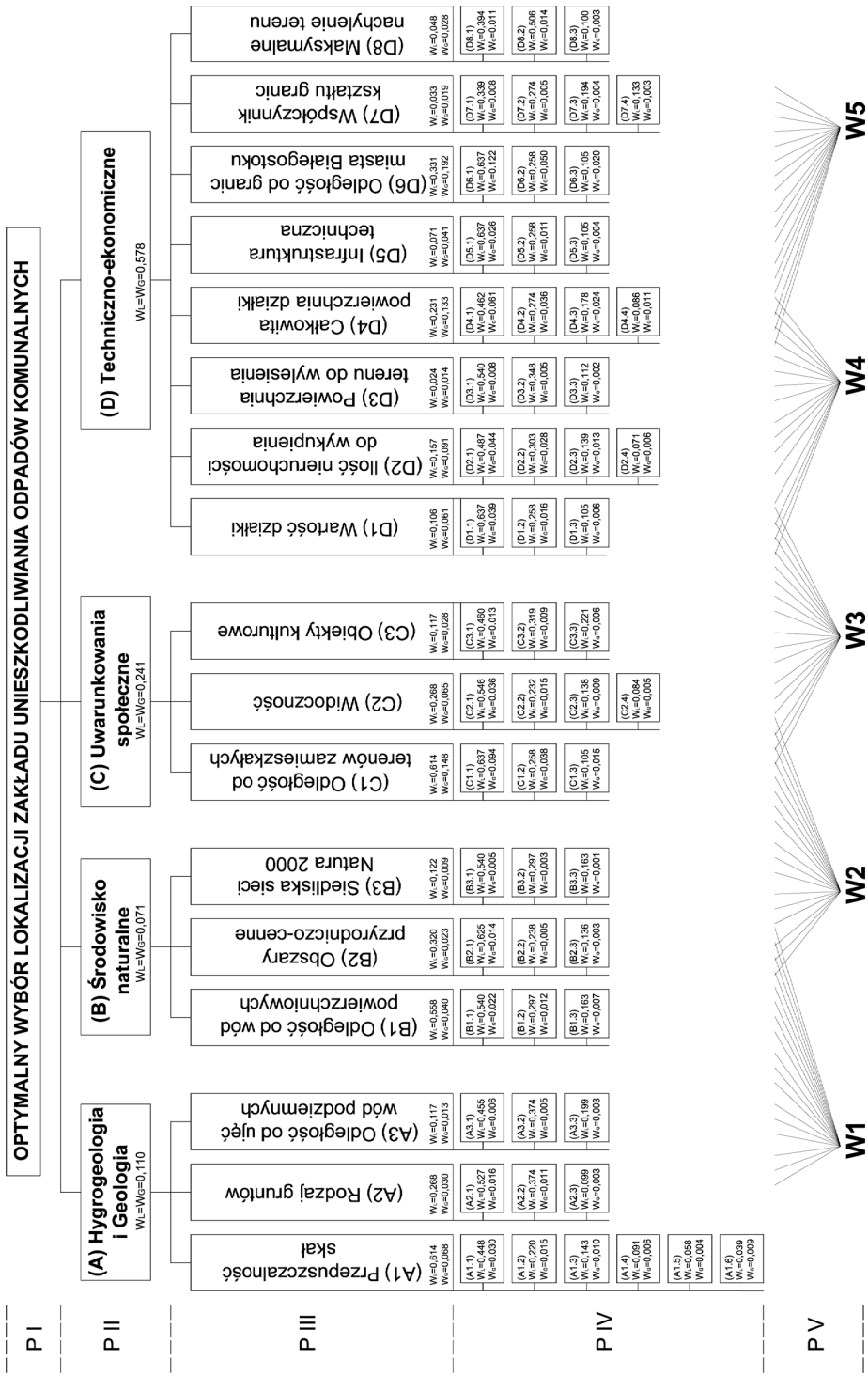
$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

gdzie:

- CI - indeks spójności,
- n - wymiar macierzy.

Rysunek 2

Struktura hierarchiczna modelu wraz z preferencjami globalnymi i lokalnymi



Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Wota, A. Woźniak, *Metodyka wyboru lokalizacji...*, op. cit.

Wartość wskaźnika zgodności (CI) powinna być mniejsza od 0,1, w przeciwnym przypadku wycenę danej macierzy należy powtórzyć<sup>9</sup>.

Na podstawie obliczonych wielkości wag dokonano hierarchizacji poszczególnych wariantów lokalizacji składowiska odpadów komunalnych. Analiza rozkładu preferencji globalnych w strukturze hierarchicznej problemu decyzyjnego, pozwala na racjonalne uzasadnienie uzyskanych wyników oraz wybór optymalnego rozwiązania.

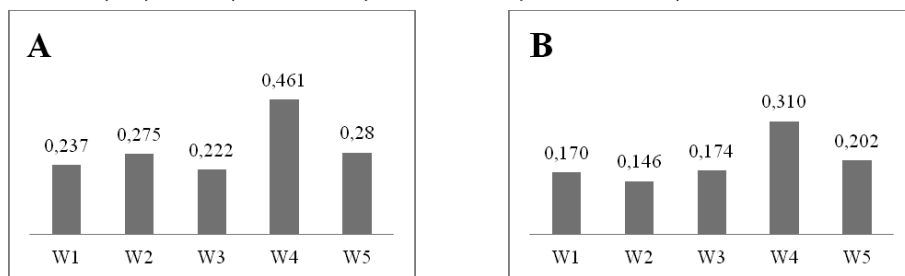
## Analiza wyników i ranking wariantów

Obliczone na poziomie II (P II) preferencje globalne względem celu nadrzędnego wskazują na najwyższy priorytet czynników techniczno-ekonomicznych (0,578), następnie kryterium społecznego (0,241), hydrogeologii i geologii (0,110), natomiast najmniejszą wagę odnotowano w aspekcie środowiska naturalnego (0,071). Prezentowany rozkład preferencji globalnych wynika z wyróżnienia największej liczby subkryteriów w grupie kryteriów technicznych i ekonomicznych. Czynniki wynikające z uwarunkowań środowiskowych uwzględnione zostały w sposób szczególny w pierwszym etapie opracowania, dotyczącym analizy GIS, zatem w tym etapie mają mniejsze znaczenie.

Po obliczeniu preferencji globalnych poziomu IV (P IV) uzyskano kompleksową ocenę końcową każdej z potencjalnych lokalizacji, która posłużyła do wyznaczenia rankingu wariantów. W celu konfrontacji uzyskanych wyników wykonano również obliczenia metodą AHP bez skali oddziaływania, porównując parami poszczególne warianty lokalizacji w świetle stosowanych kryteriów i subkryteriów. Zestawienie rankingów wariantów lokalizacji składowiska odpadów komunalnych prezentuje rysunek 3.

Rysunek 3

Konfrontacja wyników wyboru lokalizacji składowiska odpadów komunalnych



A – metodą AHP ze skalą oddziaływania; B – metodą AHP bez skali oddziaływania

Źródło: opracowanie własne.

<sup>9</sup> A. Wota, *Próba zastosowania metody AHP do oceny wielofunkcyjności obszarów wiejskich*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2005 nr 4, s.157-169.



Z powyższego zestawienia wynika, iż w świetle stosowanych metod czołowe miejsce w rankingu wariantów uzyskał wariant IV zlokalizowany w granicach administracyjnych gminy Zabłudów. Oszacowana waga jest wartością wyróżniającą na tle pozostałych lokalizacji. Na rezultat ma wpływ bliskie położenie w stosunku do granic miasta Białegostoku, będącego punktem ciężkości produkcji odpadów komunalnych. Korzystne warunki hydrogeologiczne i geologiczne, brak kolizji z obszarami antropogenicznymi oraz prawnie chronionymi również przyczynia się do dominacji wariantu IV. Drugą lokatę w prezentowanych rankingach uzyskał wariant V (gmina Zabłudów). W dalszej części zestawienia odnotowano różnice rankingowe w stosowanych metodach, dotyczące wariantów II i III. W świetle metody AHP ze skalą oddziaływania, większy priorytet globalny odnotowano w przypadku wariantu II, zajmującego trzecią lokatę w końcowym zestawieniu. W przypadku klasycznego podejścia metody analitycznej hierarchizacji, lokalizacja ta zajmuje jednak ostatnią pozycję.

## Podsumowanie

Stosowana w pracy metoda analitycznej hierarchizacji (AHP) umożliwiła dokonanie optymalnego wyboru lokalizacji składowiska odpadów komunalnych spośród hipotetycznie przyjętych wariantów lokalizacji. Porównując wyniki uzyskane metodą ze skalą oddziaływania z rezultatami osiągniętymi w wyniku porównań parami wariantów w świetle stosowanych subkryteriów, odnotowano niewielkie różnice na niższych pozycjach rankingu. Nie są one na tyle znaczące, aby dyskwalifikować określone ze stosowanych podejść, jednak każde z nich niesie za sobą pewne korzyści i ograniczenia. Główną zaletą podejścia AHP ze skalą oddziaływania jest jego uniwersalność. Zestaw kryteriów opracowany przez grupę ekspertów może być stosunkowo łatwo implementowany do rozwiązywania podobnych problemów decyzyjnych w innych miejscach przestrzeni geograficznej. Zaletą uwzględniania skal oddziaływania i ich preferencji globalnych jest możliwość wprowadzania do modelu dodatkowych rozwiązań alternatywnych, nie powodując przy tym konieczności powtórzenia całej procedury obliczeniowej. Nie jest to możliwe w przypadku porównań parami wariantów w świetle stosowanych kryteriów. Metoda ze skalą oddziaływania nie daje jednak możliwości uchwycenia minimalnych różnic między badanymi wariantami, nadając im jednakowy priorytet. W przypadku nieznacznego zróżnicowania dostępnych rozwiązań, dokładniejsze wyniki uzyskuje się poprzez bezpośrednie porównywanie parami poszczególnych wariantów w świetle stosowanych kryteriów ewaluacji.

Możliwości oferowane przez geograficzne systemy informacji przestrzennej (GIS) w połączeniu z wielokryterialnymi metodami podejmowania decyzji, stanowią z punktu widzenia decydenta efektywne narzędzie wyboru optymalnego rozwiązania.