

WYKORZYSTANIE ANALIZ WIELOKRYTERIALNYCH W PLANOWANIU DRÓG

Łukasz Kuzak, Piotr Patoka, Jerzy Chmiel

Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej,
Plac Politechniki 1, 00-661 Warszawa

Tematem artykułu jest wykorzystanie metod analizy wielokryterialnej dla oceny wariantów Wschodniej Obwodnicy Warszawy (WOW) z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju. Poruszane w nim zagadnienia dotyczą budowy jednej z najbardziej pożądaných obwodnic w kraju, której realizacja historycznie toczy się już około 30 lat. Wybór optymalnego wariantu przebiegu drogi wiąże się z koniecznością uwzględnienia nie tylko aspektów ekonomicznych, ale także potrzeb lokalnej społeczności, środowiska oraz metodyki analiz możliwie jak najmniej podatnej na czynniki subiektywne. Do tej pory często wiele z tych aspektów nie było rozważanych, a analizy opierane były nierzadko także na argumentach o charakterze politycznym.

Słowa kluczowe: analizy wielokryterialne, Wschodnia Obwodnica Warszawy, zrównoważony rozwój

1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych warunków, na mocy którego możliwa jest realizacja inwestycji drogowych, jest dokonanie oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko. Niezbędnym elementem każdego raportu oddziaływania na środowisko jest wybór najlepszego wariantu danej inwestycji, przy uwzględnieniu istotnych w danym przypadku uwarunkowań, sformułowanych w postaci kryteriów i nadanych im wag. Analiza poszczególnych raportów wskazuje, że każdorazowo, instytucja sporządzająca opracowanie, wybiera sposób, w jaki będzie prowadzić analizy. W niektórych przypadkach wybór pada na metodyki bardzo zmatematyzowane, czasami powiązany jest z porównaniem parami wszystkich kryteriów, a niekiedy ogranicza się do ogólnego ustalenia rankingu i przyznawania na tej podstawie punktów. Sytuacja ta była widoczna w przypadku analizowanym w niniejszej publikacji tj. dotyczącym Wschodniej Obwodnicy Warszawy, kiedy metodyka analiz z 2005 r. znacznie różniła się od tej z 2015 r. dokładnością, sposobem doboru i oceny kryteriów.

Już ten fakt pozwala stwierdzić, że w niektórych przypadkach otrzymany wynik będzie obciążony mniejszym ryzykiem błędu, zaś w innych większym. Trudno bowiem stwierdzić, że w przypadku niewielkich różnic pomiędzy wartościami danego kryterium, wystarczy podzielić warianty wg uznanej przez siebie kolejności i nadać im liczby z ograniczonego zakresu. Czasami jednak zbytne zmatematyzowanie może także prowadzić do utraty przejrzystości prowadzonych analiz, a co niezbędne, powinny one być zrozumiałe dla mieszkańca obszaru, przez który ma przebiegać planowana inwestycja. Tym samym nasuwa się również pytanie, czy możliwe jest przyjęcie jednej metodyki, stosowanej do oceny inwestycji drogowych, możliwej do zastosowania we wszystkich analizach, a tym samym uniknięcie braku przejrzystości i wielokrotnego przedłużania wyboru odpowiedniego wariantu. Jeśli nie, cenne byłoby przynajmniej prawne sformułowanie podstawowych wytycznych, którymi powinna kierować się osoba, przeprowadzająca przedmiotowe analizy, tak aby uniknąć podanych wyżej nieprawidłowości.

Mając na uwadze powyższe uwarunkowania, artykuł ma na celu przedstawienie problemu obiektywnego wyboru najlepszego z możliwych wariantów inwestycji, wykorzystując w tym celu metody analiz wielokryterialnych, a także dokonując pewnych analiz i przetworzeń na dostępnych danych o charakterze przestrzennym. Opracowanie opiera się na wynikach badań przeprowadzonych w ramach pracy magisterskiej (Kuzak, Patoka, 2018). Zaprezentowana zostanie jedna z opisanych w pracy metodyk, prowadząca do rozwiązania problemu, a następnie będzie ona zestawiona z wynikami otrzymanymi w tym zakresie w ramach opracowanych wcześniej raportów. Należy zaznaczyć, iż ze względu na ograniczoną objętość artykułu, prezentuje on jedynie niewielki wycinek omawianego zagadnienia, opisanego szczegółowo w cytowanej literaturze, a zagadnienie wielokryterialnego podejmowania decyzji ma dużo szersze zastosowanie niż opisane poniżej.

2. Historia realizacji inwestycji

2.1. Przebieg zdarzeń w czasie

Proces realizacji Wschodniej Obwodnicy Warszawy (WOW) ciągnie się już prawie przez 30 lat. Działania zostały zainicjowane pod koniec lat 80-tych XX wieku (Raport, 2015), kiedy to w 1987 roku przystąpiono do próby wyboru zaproponowanych wariantów przebiegu trasy od węzła „Marki” do węzła „Zakręt”. Od tego momentu, przez około 10 lat, trwało szczegółowe analizowanie rozwiązań, co do tego, którą miałaby być poprowadzona wspomniana droga ekspresowa. Do wyboru konkretnego wariantu jednak nie doszło z uwagi na narastające protesty mieszkańców oraz władz samorządowych w latach 1999-2005. Dodatkowo, prace projektowe nie mogły być kontynuowane ze względu na brak rezerwy terenów w planie zagospodarowania przestrzennego dzielnicy Wesoła. W 2005 roku przygotowano dokumentację projektową dla czterech wariantów przebiegu obwodnicy (Rys. 1). Pod koniec tego samego roku złożono wnioski o wydanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla wariantu VII. Ostatecznie jednak został on odrzucony, ze względu na bardzo dużą ilość koniecznych wyburzeń

i w latach 2006 i 2007 korytarze trasy dla wariantów W1 i WIIIA zostały uzgodnione przez Państwowy Wojewódzki Inspektorat Sanitarny oraz Ministra Rozwoju Regionalnego. Niedługo po tym, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad zaakceptowała wariant WIIIA, a Wojewoda Mazowiecki wydał decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia w wariantcie WIIIA. Cztery lata później, w 2011 r., GDDKiA złożyła wniosek do GDOŚ o wygaszenie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia z dnia 19.10.2007 r., wydanej przez Wojewodę Mazowieckiego. Podyktowane było m.in. protestami mieszkańców osiedla Grzybowa i sugestią zmiany trasy WOW na pozwalającą na jej oddalenie od zwartej zabudowy osiedla. Od tamtej pory zaproponowano kolejne kilkanaście wariantów przebiegu Wschodniej Obwodnicy Warszawy (2015 r.), jednak do czasu publikacji artykułu żaden z nich nie został ostatecznie zaakceptowany. Termin ewentualnego wyboru jest stale przesuwany, zatem planowane przedsięwzięcie szybko nie zostanie zrealizowane.

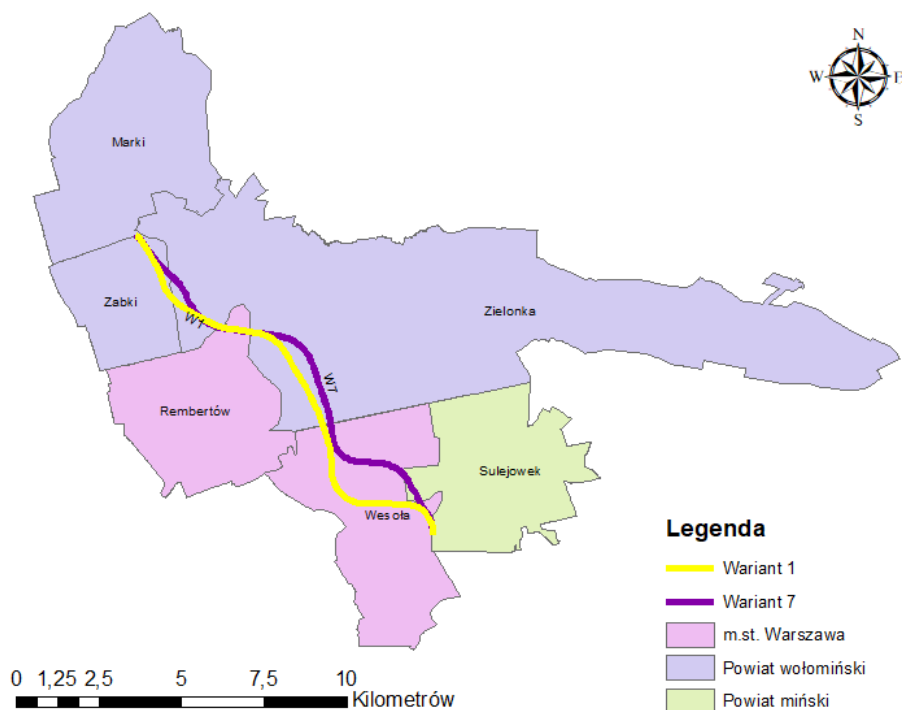
Przebieg wariantów W1 i W7 z 2015 r. przedstawia Rys. 2. Pozostałe warianty są odpowiednio kombinacjami dwóch przedstawionych powyżej. Cechuje je odrębny przebieg na trzech odcinkach, których punktami początkowymi i końcowymi są wspólne dla wszystkich wariantów węzły.

Rys. 1. Warianty przebiegu WOW z roku 2005



Źródło: <http://sulejowek.info/porta1/printview.php?t=318& start=0>

Rys. 2. Przebieg wariantów W1 i W7 z roku 2015 na tle jednostek administracyjnych



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Raportu z 2015

W listopadzie 2017 r. podjęty został kolejny krok, którym było wydanie przez Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Białymstoku decyzji środowiskowej dla pierwszego odcinka Wschodniej Obwodnicy Warszawy na odcinku węzeł Drewnica – węzeł Żąbki, o długości ok. 3,6 km. Budowa tego odcinka ma trwać do 2023 r.

W marcu 2018 r. wojewoda mazowiecki wydał zezwolenie na realizację inwestycji drogowej (ZRID) dla odcinka drogi ekspresowej S17 od węzła Zakręt do węzła Lubelska, o łącznej długości 2,5 km. Do tej pory nierozstrzygnięty jest natomiast los odcinka Żąbki – Zakręt, przebiegający m.in. przez dzielnicę Wesola. Nie wydano jeszcze dla tej części inwestycji wiążącej decyzji środowiskowej, a możliwe warianty przebiegu budzą liczne wątpliwości ze strony mieszkańców zarówno Wesolej, jak też okolicznych dzielnic i miejscowości. Termin wydania decyzji był już wielokrotnie wydłużany przez RDOŚ, obecnie na dzień 31 grudnia 2018 r.

Przez kilkadziesiąt lat zaproponowano różne warianty. Nie są to tylko rozwiązania zakładające przebieg trasy przez dzielnicę Wesola czy miasto Sulejówek,

ale również takie, które uwzględniają realizację drogi na terenie poligonu Rembertów oraz Halinowa. W grę wchodziły również warianty, mające bieć istniejącymi trasami komunikacyjnymi, m.in. ul. Żołnierską oraz Traktem Brzeskim, czy też wzdłuż linii kolejowej nr 449. Żadna z tych opcji, poza wspomnianymi propozycjami przebiegu przez dzielnicę Wesoła i Sulejówek, nie jest już rozpatrywana. Głównymi tego powodami są: występowanie na tych terenach obszarów Natura 2000, protesty mieszkańców Halinowa, zbyt duża liczba koniecznych wyburzeń budynków wzdłuż Traktu Brzeskiego, czy też konieczność przecięcia linii kolejowej w kilku miejscach.

2.2. Problemy i uwarunkowania w realizacji inwestycji

Realizacja przedsięwzięcia napotkała już wiele trudności, do których (według dostępnych informacji) należała m.in. lokalizacja domu byłego ministra środowiska. Odrzucono dotychczas przyjęte warianty i zaopiniowano pozytywnie wariant przebiegający przez Okuniew, wiążący się z dużo większymi kosztami, dłuższą trasą, ale też koniecznością wyrębu znacznej części lasu.

Drugim istotnym aspektem były protesty mieszkańców poszczególnych dzielnic i miejscowości, w okolicy których lub przez które miałyby przebiegać obwodnica. Niemożliwe jednak jest uwzględnienie wszystkich postulatów, opartych często na syndromie NIMBY (*not in my backyard*).

Kolejnym, nie mniej ważnym problemem, był przebieg wariantów obwodnicy przez teren Natura 2000, będący siedliskiem ryby – strzebla błotnej (Rys. 3). Wprawdzie obszar ten ma jedynie 2,2 ha, jednakże takie poprowadzenie wariantów oznaczało konieczność dokonania poprawek i zmian przebiegu.

Rys. 3. Ryba strzebla błotna



Źródło:<http://bi.gazeta.pl/im/1/9143/z9143761V,Tak-wyglada-strzebla-blotna--z-powodu-ktorej-rzad-.jpg>

Proponowane przez inwestora rozwiązania budziły zastrzeżenia u władz i społeczności, reprezentujących poszczególne gminy bezpośrednio zaangażowane w planowaną inwestycję. Z powodu braku możliwości uzgodnienia trasy obwodnicy, prace projektowe zostały kilkakrotnie wstrzymane. Swoje uwagi zgłosili mieszkańcy Marek, Zielonki, Wesołej, Rembertowa, Sulejówka, Wiązownej, Halinowa oraz Wawra. W związku z tym, że postulaty były ze sobą nierzadko sprzeczne, uznano za najistotniejsze te dotyczące mieszkańców, przez których gminy ma przebiegać

odcinek obwodnicy. Głównymi poruszonymi problemami było m.in. zniszczenie lasów i wydm, zatrucie wody pitnej w studniach głębinowych, zaburzenie stosunków wodnych, a także spadek wartości nieruchomości położonych w bezpośrednim sąsiedztwie obwodnicy. Dodatkowo, dość dużym problemem do rozwiązania jest oddzielenie północnej części dzielnicy Wesoła od pozostałej części na skutek przecięcia tej dzielnicy trasą planowanej obwodnicy, projektowana trasa przecina bowiem dzielnicę na pół, biegnąc do tego w bezpośrednim sąsiedztwie budynków użyteczności publicznej i domów mieszkalnych. Dodatkowym kryterium jest także kryterium ekonomiczne. Brak strefy chroniącej ujęcia wody wywoła konieczność korzystania z rzeki Wisły, co odbije się na kosztach i jakości wody. Ostatecznie budowa obwodnicy może spowodować negatywne efekty w postaci spadku wartości działek i nieruchomości, które znajdą się w bezpośrednim sąsiedztwie planowanej inwestycji.

3. Analizy wielokryterialne i metody w nich wykorzystywane

3.1. Wprowadzenie

Jednym z głównych celów tworzenia systemów informacji przestrzennej (SIP) jest pozyskanie nowej informacji. Może być ona uzyskana poprzez porównanie i analizę posiadanych danych, w postaci plików rastrowych czy wektorowych, map, zdjęć lotniczych i satelitarnych. Szczególnie ważne jest to przy podejmowaniu złożonych decyzji, występujących, między innymi, przy ustalaniu zagospodarowania przestrzennego terenu. Tym samym „jedną z najważniejszych funkcji SIP są analizy przestrzenne” (Białousz, 2004). Do podstawowych typów analiz należą analizy wielokryterialne, które wykorzystane zostały w niniejszym artykule. Są one rodzajem procedury, wspomagającej proces podejmowania decyzji w oparciu o zestaw określonych kryteriów. Co istotne, mają one dużo szersze zastosowanie niż jedynie w systemach informacji przestrzennej i bazować mogą nie tylko na danych przestrzennych. Analizy przestrzenne, w tym analizy wielokryterialne, należą do kluczowych funkcji systemów informacji przestrzennej.

Wynikiem analiz są nowe informacje, które mogą być zaprezentowane w postaci m.in. map, wykresów, raportów, ale także warstw wchodzących w skład baz danych czy geoportalu. Wyniki te pozwalają decydom na bardziej kompleksowe i rzeczowe podejście do problemu, a także podjęcie właściwej decyzji. Znaczenie samych analiz jest niekwestionowane w wielu dziedzinach wiedzy, zarówno we wspomnianym wcześniej zagospodarowaniu przestrzennym i administracji, ale także przy planowaniu uzbrojenia terenu, działalności służb ratowniczych, drogownictwie, gospodarce wodnej, leśnictwie, ochronie przyrody, monitoringu środowiska, geoboznawstwie czy turystyce.

W przypadku zastosowania analiz wielokryterialnych w środowisku SIP wykorzystywane są dane o wyraźnym kontekście przestrzennym. W oparciu o nie definiowany jest cel analiz i zestaw kryteriów.

Do podstawowych rodzajów analiz wielokryterialnych wykorzystywanych w SIP należą (Chmiel, 2013):

- ocena przydatności terenu dla danego celu,
- wskazanie najlepszej lokalizacji dla przedsięwzięcia,
- analiza porównawcza wariantów danej inwestycji (która jest przedmiotem tego opracowania).

Pierwsze dwa przypadki związane są najczęściej z inwestycjami skupionymi na niewielkiej przestrzeni terenu, dla których łatwo jest stwierdzić, czy dany wycinek powierzchni ziemi spełnia wymagania dla lokalizacji planowanego przedsięwzięcia. Trzeci rodzaj analiz dotyczy może nie tylko inwestycji punktowych, ale także liniowych, takich jak autostrady czy drogi szybkiego ruchu. Dzięki zastosowaniu analiz przestrzennych możliwe jest odwzorowanie przebiegu poszczególnych wariantów drogi oraz zastosowanie kryteriów pozwalających na zbadanie, która z możliwości jest najlepsza.

Analiza wielokryterialna mająca na celu wybór najlepszego przedsięwzięcia może zostać podzielona na następujące etapy (Rys. 4):

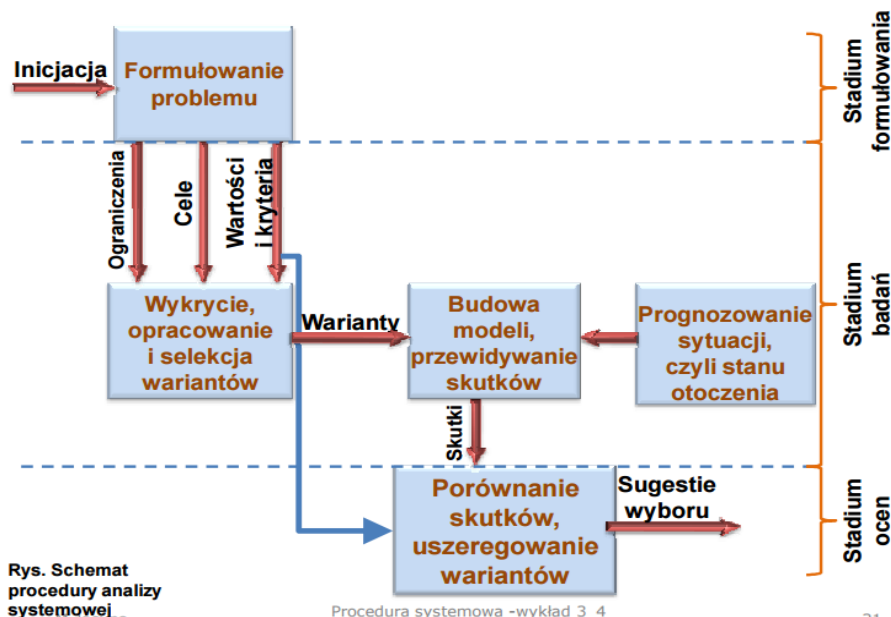
- sformułowanie problemu,
- opracowanie i selekcja wariantów do rozważenia,
- opracowanie prognozy sytuacji, czyli stanu otoczenia,
- budowa modeli i ich użycie do przewidywania skutków,
- porównanie wyników i uszeregowanie wariantów.

Należy zauważyć, że „w większości analiz tylko bardzo nieliczne składniki przedstawionej procedury wystarcza zrealizować tylko raz” (Jacyna, 2009). Oznacza to, że właściwie na każdym etapie analizy konieczne może być właściwe zastosowanie iteracji, gdyż błędne założenia, przyjęte w dowolnej fazie mogą prowadzić w konsekwencji do nieprawidłowych wyników. Tym samym niezbędna staje się zmiana założeń początkowych, uzupełnienie niektórych danych, wybór nowych wariantów, wprowadzanie nowych ograniczeń, a nawet czasami sformułowanie nowego problemu.

Proces podejmowania decyzji w oparciu o analizy wielokryterialne wiąże się z koniecznością podziału ról i kompetencji. W niewielu przypadkach jedna osoba pełni zarówno funkcję analityka jak i decydenta. Tym samym, zarówno podczas zbierania jak i podczas analizowania danych konieczny jest stały kontakt pomiędzy osobą przeprowadzającą analizy, a tą podejmującą decyzję w odniesieniu do planowanej inwestycji. W następnym fragmencie zostanie krótko przedstawiona wybrana metoda analiz wielokryterialnych, która posłużyła do analiz w dalszej części opracowania, na tle prezentacji wybranych metod. Należy zaznaczyć, że jest to jedynie niewielki wycinek szerokiego spektrum metod analiz, możliwych do zastosowania, opisanych, między innymi, w książce Jacka Malczewskiego i Joanny

Jaroszewicz (2018) oraz wykorzystanych w pracy dyplomowej autorów niniejszego opracowania (Kuzak, Patoka, 2018).

Rys. 4. Schemat procedury analizy systemowej



Źródło: Findeisen W. (red), *Analiza systemowa – podstawy i metodologia*, po modyfikacji M. Jacyny

3.2. Punktowa metoda wielokryterialna

Do najprostszych metod analiz wielokryterialnych należy punktowa metoda wielokryterialna. Jest to metoda całkowicie automatyczna i nie wymaga zasadniczo zastosowania danych przestrzennych. Tym samym wykorzystuje się ją do oceny wariantów inwestycji o charakterze technicznym, dla których wszystkie parametry liczbowe są znane lub trudno mierzalne. Warunkiem koniecznym dla przeprowadzenia tej, jak i każdej innej, analizy wielokryterialnej jest istnienie co najmniej dwóch wariantów zapisanych w postaci:

$$R = \{1, 2, \dots, r, \dots, \overline{R}\}$$

Dodatkowo, konieczne jest zidentyfikowanie na potrzeby analizy co najmniej jednego kryterium decyzyjnego. Oznaczamy to jako:

$$K = \{1, 2, \dots, k, \dots, K\}$$

Kryteria mogą być dodatkowo grupowane w tzw. cele.

Ponadto, każde z kryteriów może mieć nadaną ważność w postaci zestawu wag, których suma dla wszystkich kryteriów powinna być równa 1.

Następnie, wszystkie kryteria powinny być podzielone na dwie grupy – kryteria maksymalizujące (im większa wartość tym lepiej) i minimalizujące (im mniejsza wartość tym lepiej). Sformułowane kryteria mogą charakteryzować się różnymi jednostkami oraz zakresem wartości. Aby móc przeprowadzić analizy konieczne jest zapewnienie ich porównywalności poprzez zastosowanie normalizacji ocen wariantów z punktu widzenia przyjętych kryteriów.

W przypadku kryteriów maksymalizowanych (Jacyna, 2009):

$$n(r, k) = \frac{w(r, k)}{\max_{r \in R} \{w(r, k)\}}$$

a w przypadku kryteriów minimalizowanych:

$$n(r, k) = \frac{\min_{r \in R} \{w(r, k)\}}{w(r, k)}$$

gdzie $w(r, k)$ to ocena wariantu o numerze r z punktu widzenia wyróżnionego kryterium k .

Po normalizacji, otrzymane wyniki należy jeszcze przemnożyć przez wagi $c(k)$ dla danych kryteriów, a następnie zsumować, aby stwierdzić, która z lokalizacji ma najwyższą oceną punktową. Jest to tzw. syntetyczny wskaźnik oceny wariantów.

$$W(r) = \sum_{k \in K} c(k) * n(r, k)$$

Aby przeprowadzona analiza wielokryterialna była skuteczna potrzebne jest nadanie kryteriom odpowiednich wag¹. Wagi mogą być wskazane przez ekspertów, ale częściej sięga się po inne metody ich wyznaczania. W ogólnym podziale można wyróżnić globalne i lokalne metody wyznaczania wag (Malczewski i Jaroszewicz, 2018). Użyteczne narzędzia dla realizacji niektórych z tych metod można znaleźć często w oprogramowaniu z zakresu GIS. Jedną z najpopularniejszych metod wykorzystywanych w tym celu to metoda porównywania parami, opracowana w ramach tzw. hierarchicznej analizy problemu (AHP), stanowiącej szersze podejście metodyczne do analizy wielokryterialnej (Malczewski i Jaroszewicz, 2018;

¹ Należy podkreślić, że zarówno omawiana tutaj „metoda punktowa”, jak i dalej przedstawiana metoda AHP faktycznie uwzględniają podane w sposób jawny wagi. Oznacza to, w istocie, że zagadnienie wielokryterialne jest sprowadzane do jednokryterialnego („skalaryzacja”). Istnieją jednak metody, w których w sposób efektywny unika się podawania jawnych wag (tj. prowadzi się analizę zbioru Pareto, czyli rozwiązań niezdominowanych), bowiem, jak wiadomo, specyfikacja jawnych wag prowadzić łatwo może do wprowadzania do procedury elementów subiektywnych (przyj. red.).

Blachowski i inni, 2016). AHP została opracowana w latach 70-tych XX wieku przez Saaty'ego. Metoda ta, opierając się na koncepcji hierarchii celów oraz tworzeniu porównań parami pomiędzy celami (kryteriami) na tym samym poziomie, stanowi istotne wielokryterialne podejście w rozwiązywaniu problemów o charakterze decyzyjnym. Ale w nieco zawężonym ujęciu może służyć jako wsparcie na etapie wyznaczania wag w analizach wielokryterialnych, prowadzonych z użyciem innych metod, co wykorzystano w niniejszym opracowaniu. Jest ona stosunkowo często wykorzystywana w tego rodzaju zastosowaniach.

3.3. Metoda AHP

Opiera się ona na porównaniu parami poszczególnych kryteriów i została zaimplementowana do oprogramowania GIS w latach 90-tych XX wieku. Zastosowanie tej metody można podzielić na trzy podstawowe etapy:

- 1) analiza i opis problemu, struktury problemu w postaci hierarchii,
- 2) przeprowadzenie porównań ważności kryteriów parami z wykorzystaniem skali punktowej (9 poziomów wartości),
- 3) obliczenie wag.

W celu otrzymania macierzy porównań kryteriów parami, dla każdego kryterium oblicza się jego względną ważność w kontekście przeprowadzenia analizy wielokryterialnej. Domyślnie w AHP stosuje się skalę 9 stopniową, gdzie 1 to jednakowa ważność, 3 – nieznacznie większa ważność, 5 - większa ważność, 7 – zdecydowanie większa ważność i 9 – bardzo znacząco większa ważność. Pozostałe liczby wyrażają stopnie pośrednie, zaś odwrotności tych liczb - odpowiednio mniejszą ważność danego kryterium. W ten sposób, dla każdego kryterium obliczana jest suma otrzymanych wartości, a następnie każda z tych wartości jest przez tę sumę dzielona. Dzięki temu możliwe jest zsumowanie dla każdego kryterium wag względnych. Po podzieleniu ich przez sumę otrzymujemy średnią wagę dla każdego z nich. Następnie wagi te są wymnażane przez wartości poszczególnych wariantów. W ten sposób można otrzymać ranking alternatyw. Im bliżej wartości 1, tym wariant jest lepszy, a im bliżej 0, tym gorszy.

Wyznaczone w ten sposób wartości wag powinny spełniać warunek przechodniości, czyli, jeżeli $K1 \geq K2$ oraz $K2 \geq K3$, to $K1 \geq K3$ (kryterium preferowane względem drugiego). Niestety, często wybory co do wartości samych wag dokonywane przez ludzi (ekspertów) nie są w pełni spójne. W celu oceny tego zjawiska oblicza się tzw. współczynnik spójności CR (ang. consistency ratio), oparty na założeniu, w odniesieniu do wartości własnych macierzy porównań, że $\lambda_{\max} > n$ dla dodatniej, odwracalnej macierzy oraz $\lambda_{\max} = n$, jeżeli macierz jest spójna (Malczewski, Jaroszewicz, 2018).

Aby ocenić spójność, macierz porównań poszczególnych kryteriów (macierz porównań parami, MPP) jest wymnażana przez wektor zawierający średnie wagi dla

każdego z nich. Otrzymuje się w ten sposób wektor ważonej sumy, który oznaczamy s (Rys. 5.).

Następnie wartości wektora ważonej sumy s dzielone są przez odpowiednie wagi w i w ten sposób otrzymuje się wektor spójności, oznaczony vc (Rys. 6.).

Rys. 5. Macierz porównań kryteriów

| | | | | | | |
|------------|---|-----|-----|-----|----------|----------|
| MPP | | | | | w | s |
| 1 | 5 | 4 | 1/3 | 2 | 0,24 | 1,28 |
| 1/5 | 1 | 1/3 | 1/8 | 1/5 | 0,04 | 0,21 |
| 1/4 | 3 | 1 | 1/5 | 1/3 | 0,08 | 0,42 |
| 3 | 8 | 5 | 1 | 3 | 0,46 | 2,45 |
| 1/2 | 5 | 3 | 1/3 | 1 | 0,17 | 0,90 |

Źródło: Malczewski, Jaroszewicz, 2018

Rys. 6. Wektor spójności

| s/w | wektor spójności vc |
|-------------|--------------------------------|
| 1,28/0,24 = | 5,32 |
| 0,21/0,04 = | 5,12 |
| 0,42/0,08 = | 5,03 |
| 2,45/0,46 = | 5,31 |
| 0,90/0,17 = | 5,16 |

Źródło: Malczewski, Jaroszewicz, 2018

Na podstawie wektora spójności vc obliczany jest parametr λ_{max} (największa wartość własna macierzy MPP), stanowiący średnią arytmetyczną wartości tego wektora. Po uzyskaniu wspomnianych wartości możliwe jest uzyskanie współczynnika spójności wyrażonego wzorem:

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n - 1)}$$

gdzie n to liczba obserwacji, a RI to stały współczynnik losowy, zależny od tej liczby (por. Tabela 1).

Macierz porównań parami uznaje się za spójną, gdy współczynnik *CR* jest mniejszy niż 0,1. Metoda AHP jest metodą pracochłonną, gdyż wymaga porównania ze sobą wszystkich kryteriów. Tym samym konieczna jest pewna podstawowa wiedza osoby przeprowadzającej analizę, by możliwe było określenie ich wzajemnej ważności. Dzięki temu możliwe jest jednak bardziej obiektywne określenie wag kryteriów, niż w przypadku, gdy są one ustalane odgórnie przez analityka. Z tego powodu jest to jedna z popularniejszych metod stosowanych w oprogramowaniu GIS, zaś w najprostszym ujęciu może być ona wykorzystana nawet w obliczeniach ręcznych czy programie Excel. Należy jednak zauważyć, że metoda AHP „zakłada wzajemną niezależność elementów struktury hierarchicznej i ich grup. W praktyce założenie to jest trudne do spełnienia, w szczególności dla przestrzennych problemów decyzyjnych w systemach informacji geograficznej.” (Malczewski, Jaroszewicz, 2018). Wynika to ze złożonych oddziaływań między poszczególnymi elementami stanowiącymi kryteria, bądź warianty. Rozszerzeniem metody uwzględniającym te zależności jest metoda ANP (Analytic Network Process) przedstawiająca problem decyzyjny w postaci sieci.

Tabela 1. Wartości współczynnika RI w zależności od liczby obserwacji

| n | RI | n | RI |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 3 | 0,5245 | 17 | 1,6086 |
| 4 | 0,8815 | 18 | 1,6181 |
| 5 | 1,1086 | 19 | 1,6265 |
| 6 | 1,2479 | 20 | 1,6341 |
| 7 | 1,3417 | 21 | 1,6409 |
| 8 | 1,4056 | 22 | 1,6470 |
| 9 | 1,4499 | 23 | 1,6526 |
| 10 | 1,4854 | 24 | 1,6577 |
| 11 | 1,5141 | 25 | 1,6624 |
| 12 | 1,5365 | 26 | 1,6667 |
| 13 | 1,5551 | 27 | 1,6706 |
| 14 | 1,5713 | 28 | 1,6743 |
| 15 | 1,5838 | 29 | 1,6777 |
| 16 | 1,5978 | 30 | 1,6809 |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Alonso, Lamata (2006)

Właściwie dobrana i zastosowana metoda analizy wielokryterialnej, jak również poprawność przyjęcia schematu analizy (modelu opisującego dany problem), kryteriów i wag oraz dokładność wykorzystywanych danych to kluczowe czynniki wpływające na dokładność wyników analiz wielokryterialnych. Przy ocenie dokładności końcowych wyników może być stosowana analiza wrażliwości, która umożliwia m.in. przeprowadzenie oceny wpływu niewielkich zmian w danych wejściowych (np. parametrów modelu, reguł decyzyjnych, wag) na uzyskiwane wyniki. Pomocne jest przy tym np. wskazanie parametrów mających istotny wpływ na wynik końcowy, które może stanowić podstawę badania stabilności przyjętego

modelu (schematu) rozwiązania. Analiza ta nie wchodzi w zakres niniejszego opracowania.

4. Założenia niezbędne do przyjęcia przy prowadzeniu analiz – wybór kryteriów oceny

Niezbędnym etapem przy przeprowadzaniu analiz przestrzennych jest dobór odpowiednich kryteriów. Powinny one zostać wybrane w taki sposób, aby były (por. Malczewski, Jaroszewicz, 2018):

- mierzalne – musi istnieć możliwość wyznaczenia wartości kryterium dla każdej alternatywy decyzyjnej,
- zbiór kryteriów powinien być kompletny – zbiór wszystkich kryteriów powinien odzwierciedlać wszystkie aspekty problemu decyzyjnego,
- zbiór kryteriów powinien być operacyjny – wartości kryterium powinny być możliwe do wyznaczenia w procesie przetwarzania danych i mieć taką postać by mogły być sensownie użyte w analizie,
- zbiór kryteriów powinien być tak zdefiniowany, aby było doprowadzenie ich do prostej, pojedynczej formy, w celu uproszczenia procesu analizy,
- zbiór kryteriów powinien być nieredundantny – tak by uniknąć kilkukrotnego wzięcia pod uwagę tego samego aspektu problemu decyzyjnego,
- zbiór kryteriów powinien być minimalny – liczba kryteriów powinna być możliwie mała.

W przypadku stworzonych w latach 2005 i 2015 raportów oddziaływania na środowisko Wschodniej Obwodnicy Warszawy wybrane zostały kryteria inne dla każdego raportu (Tabela 2). Tym samym oznaczać to może, że dobór kryteriów nie był kompletny, a ważne aspekty zostały w niektórych przypadkach pominięte. Także część kryteriów cechowała redundancja, były one między sobą powiązane i wyrażały tym samym tę samą cechę. Należy jednak podkreślić, że właściwy dobór kryteriów, zgodny z podanymi powyżej zasadami, jest niezmiernie trudny i wymaga dokładnej analizy opisywanego zagadnienia, a w konkretnych przypadkach może się wręcz okazać niemożliwy.

Docelowo, w niniejszym opracowaniu, kryteria zostały podzielone na trzy grupy – ekonomiczne, społeczne i środowiskowe, mając na uwadze każdy ze standardowo przyjmowanych elementów zrównoważonego rozwoju. W literaturze dotyczącej analiz przestrzennych można spotkać podejście, zgodnie z którym grupom takim nadaje się odrębne wagi, a poszczególne kryteria przypisane danej grupie porównuje wewnątrz tych struktur. W przypadku niniejszej publikacji postanowiono zrezygnować z tego podejścia i przyjąć, że każdy z tych aspektów (każda z grup) jest jednakowo ważny w kontekście zrównoważonego rozwoju, a ponadto niektórych kryteriów nie można łatwo przypisać tylko do danej grupy. Dodatkowo, liczba

przyjętych kryteriów (16) nie jest na tyle duża, aby w znaczącym stopniu utrudniała wykonanie analiz, przyjmując, że kryteria będą stanowiły jeden zbiór. W dalszej części dokonano charakterystyki poszczególnych kryteriów.

Tabela 2. Kryteria przyjęte do analiz w raportach z 2005 i 2015 roku

| Kryteria 2005r. | Kryteria 2015 rok |
|---|--|
| Długość odcinka | Liczba stanowisk gatunków roślin chronionych |
| Powierzchnia zajętego terenu | Liczba budynków do wyburzenia |
| Powierzchnia lasów | Liczba budynków narażonych na ponadnormatywne oddziaływanie hałasu w 2035 roku |
| Zajęcie terenu MPK | Oddziaływanie skumulowane hałasu w roku 2035 |
| Zajęcie terenu WOChK | Liczba studni znajdujących się w obszarze oddziaływania |
| Gatunki chronione roślin | Naruszenie głębszych warstw geolog. |
| Kolizje ze szlakami migracji zwierząt | Zgodność przebiegu trasy z dokumentami planistycznymi |
| Budynki do likwidacji | Akceptacja jednostek samorządowych |
| Zabudowa mieszkaniowa w odległości do 1000 metrów od trasy | Ograniczenie powiązań przyrodniczych obszaru Natura 2000 – Strzebla Błotna |
| Ogólna liczba budynków w obszarze wyst. hałasu o poziomie 50dB w nocy | Odległość od obszaru Natura 2000 – Poligon Rembertów |
| Liczba osób narażonych na ponadnormatywny hałas | Powierzchnia siedlisk zniszczonych w wyniku realizacji inwestycji |
| Roczna emisja tlenków azotu | Liczba stanowisk gatunków awifauny zniszczonej |
| Ilość odpadów, gruzu | Liczba stanowisk gatunków herpetofauny zniszczonej |
| Ilość wód opadowych z pasa drog. | Uciążliwość robót budowlanych |
| Spływ wód opadowych z terenu pasa drogowego | |

Źródło: Opracowanie własne

Długość odcinka [km]

Podstawowe kryterium o charakterze ekonomicznym określa w kilometrach długość poszczególnych wariantów planowanej obwodnicy. Im dłuższa trasa, tym koszt budowy wyższy. Należy się jednak zastanowić, czy ze względu na podobny przebieg poszczególnych wariantów (z niewielkimi wyjątkami w przypadku wariantu omijającego dzielnicę Wesola i biegnącego przez gminę Halinów), jest to kryterium kluczowe. Mimo to, ze względu na duże znaczenie z punktu widzenia kosztów uwzględniono je w dalszych analizach.

Powierzchnia zajętego terenu [ha]

Kryterium określające ile hektarów zajmie cała inwestycja związana z budową WOW. Uwzględnić należy więc nie tylko sam pas drogi, ale również wykonane nasypy, wykopy, zjazdy, węzły oraz całą infrastrukturę towarzyszącą. Jest to również kryterium o charakterze ekonomicznym i im większa zajęta powierzchnia, tym gorzej. Wyznaczenie niezbędnych wartości nie stanowi problemu obliczeniowego, natomiast rodzi pytanie, czy nie jest to kryterium zależne od długości planowanego odcinka obwodnicy, a tym samym jego wartości nie kształtują się w analogiczny sposób.

Liczba budynków przeznaczonych do wyburzenia [szt.]

To kryterium opisuje liczbę budynków mieszkalnych i niemieskalnych koniecznych do wyburzenia ze względu na położenie bezpośrednio w granicach inwestycji lub w jej bezpośrednim sąsiedztwie, których pozostawienie uniemożliwiłoby budowę koniecznej infrastruktury, a także odpowiedni poziom życia potencjalnych mieszkańców. Istotna jest także minimalna odległość niezbędna do uwzględnienia przy realizacji inwestycji drogowej, wynikająca z przepisów odrębnych. Ze względu na różny przebieg wariantów na niektórych odcinkach, a także istotność kryterium z punktu widzenia mieszkańców i kosztów budowy drogi jest to niezbędne kryterium do uwzględnienia w analizach, a im większa jego wartość tym sytuacja mniej korzystna.

Długość potrzebnych ekranów akustycznych [m]

Kryterium to określa łączną długość ekranów akustycznych, które muszą zostać wybudowane wzdłuż planowanej obwodnicy w celu ograniczenia generowanych przez nią hałasów. Ekranu te wybudowane zostaną głównie na obszarach zabudowanych i szczególnie narażonych na ponadnormatywne oddziaływanie hałasu. Stworzenie nowych ekranów akustycznych generuje dodatkowe koszty budowy obwodnicy, jednakże przyczynia się do poprawy klimatu akustycznego w rejonie inwestycji. Jest to jednak kryterium trudne do jednoznacznego wyznaczenia, a ponadto powiązane z kryteriami dotyczącymi długości odcinka oraz obszarów ponadnormatywnego hałasu.

Powierzchnia lasów we wstępnie ustalonych liniach rozgraniczających [ha]

Jest to kryterium, które określa ile hektarów lasu znajduje się w liniach rozgraniczających inwestycji, a tym samym podlegać będzie wycięciu. Ze względu na dość znaczną degradację środowiska w dużych miastach oraz niedobór obszarów zieleni, należy kryterium takie traktować priorytetowo. Tym samym, im niższa jego wartość, tym lepiej. Dodatkowo, wyłączenie gruntu leśnego z produkcji wymaga podjęcia kroków uwarunkowanych prawnie. Jest to dodatkowo kryterium łatwe do przeanalizowania ze względu na dostępność odpowiednich danych w bazie danych obiektów topograficznych (BDOT10k) i zostało uwzględnione w prowadzonych analizach.

Ograniczenie powiązań przyrodniczych obszaru Natura 2000 Strzebla Błotna w Zielonce [0-1]

Kryterium to określa, czy planowany wariant obwodnicy ograniczy w sposób istotny powiązania przyrodnicze obszaru Natura 2000 Strzebla Błotna w Zielonce, będącego jednym z cenniejszych siedlisk tego gatunku w województwie, a także stanowiącego jedno ze źródeł konfliktu wokół budowy inwestycji. Problem sprowadza się do możliwości zmiany stosunków wodnych obszaru Natura 2000, spowodowanej budową drogi i towarzyszących jej wykopów. Wynika to z faktu naruszenia warstwy występujących tam ilów izolujących podłoże i zatrzymujących wodę w zbiorniku. Ponadto, niektóre z wariantów mogą odseparować ten obszar od otaczających go terenów zielonych, stanowiących korytarz ekologiczny pozwalający na zwiększanie różnorodności przyrodniczej tego obszaru. Jest to tym samym kryterium niezbędne do uwzględnienia w dalszych analizach.

Odległość od obszaru Natura 2000 Poligon Rembertów [m]

Kryterium określa minimalną odległość trasy obwodnicy od najcenniejszego przyrodniczo i bogatego w chronione gatunki roślin i zwierząt obszaru w okolicy – obszaru Natura 2000 Poligon Rembertów, w skład którego wchodzi m.in. rezerwat Bagno Jacka. Zbyt bliska odległość może oznaczać, podobnie jak w przypadku poprzedniego kryterium, zaburzenie równowagi przyrodniczej i prawidłowego funkcjonowania tego obszaru, a w konsekwencji wyginięcie żyjących tam gatunków. Ze względu na wagę tego kryterium i łatwość jego zweryfikowania zostało ono wybrane do uwzględnienia w analizach.

Liczba stanowisk gatunków roślin, awifauny (ptaków), herpetofauny (płazów i gadów) chronionych zniszczonych [szt.]

Kryterium to określa liczbę stanowisk poszczególnych gatunków roślin i zwierząt, które w wyniku budowy obwodnicy uległyby zniszczeniu. Źródłem danych dotyczących zagrożonych gatunków jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2016 r. w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt i Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin. Jest to ważny aspekt z punktu widzenia ciągłości ekosystemu, a wariant który powoduje zniszczenie wielu stanowisk nie powinien być wybrany. Należy zaznaczyć, że powodem wyginięcia gatunku może być nie tylko realizacja inwestycji bezpośrednio na obszarze jej bytowania, ale także w bezpośrednim sąsiedztwie, co może negatywnie wpływać na warunki ich życia. Do realizacji kryterium wykorzystano plany poszczególnych wariantów załączone do raportu z 2015 roku.

Zajęcie terenu MPK i WOChK [ha]

Kryterium to określa liczbę hektarów obszarów chronionych Mazowieckiego Parku Krajobrazowego oraz Warszawskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu objętych poszczególnymi wariantami przebiegu obwodnicy. Podobnie jak w przypadku obszarów Natura 2000, jest to istotne kryterium z punktu widzenia zachowania równowagi biologicznej i cennych gatunków chronionych. Wartości,

wynikające z przebiegu w obrębie MPK i WOChK zostały ze sobą zsumowane i wykazały dość znaczne różnice.

Korzystne warunki glebowe [%]

Kryterium to określa wartość procentową terenów o korzystnych warunkach glebowych dla budowy dróg. Są to gleby mniej przydatne rolniczo, należące do kompleksów 6 i 7 (żytni słaby i żytni bardzo słaby) oraz kompleksów 8 i 9 (zbożowo-pastewny mocny i słaby). Dodatkowo przydatne mogą okazać się nieużytki, użytki zielone i tereny zalesione. Z pewnością natomiast nie powinno się przeznaczać na cele budowy dróg gleb o największej przydatności rolniczej (a więc kompleksów pszennych 1-3 oraz żytniego dobrego – 4 i bardzo dobrego – 5). Wyłączyć należałoby objęte ochroną gleby organiczne, tereny wód powierzchniowych, lasów, a także obszary zabudowane, na których realizacja planowanej obwodnicy wymagałaby wielu przekształceń. Ze względu na to, że warunki glebowe są niezwykle ważne do uwzględnienia przy budowie dróg jest to niezbędne kryterium do wykorzystania w analizach.

Korzystne warunki geologiczne [%]

Jest to kryterium określające procentowy udział gruntów o korzystnych warunkach geologicznych. Za niekorzystne można uznać obszary występowania torfów, namulów torfiastych, mad, ilów, mułków, namulów piaszczystych i innych gruntów podmokłych. Nieprzydatne będą również obszary jezior i rzek. Natomiast za korzystne można uznać występujące na danym terenie piaski, żwiry i gliny, co prezentuje Tabela 3.

Tabela 3. Warunki geologiczne

| Warunki geologiczne | |
|---------------------------------------|--|
| Korzystne | Niekorzystne |
| Piaski eoliczne | Torfy |
| Żwiry i piaski rzeczne | Piaski humusowe i namuły den dolinnych |
| Piaski i mułki den dolinnych | Namuły torfiaste |
| Piaski wodnolodowcowe | Mady średnie tarasu zalewowego |
| Gлина zwałowa | Mady lekkie tarasu zalewowego |
| Piaski nasypów i mielizn | Iły i mułki |
| Piaski tarasu nadzalewowego | Namuły piaszczyste z humusem |
| Rezydwa gliny zwałowej | Obszary jezior |
| Piaski stożków napływowych | Obszary rzek |
| Eluwia piaszczyste glin zwałowych | |
| Piaski, żwiry i głązy moren czołowych | |
| Piaski lodowcowe z głązami | |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Matuszewski (2007)

Oporność gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne [% klasy 5]

Kryterium to określa procentowy udział gleb klasy 5 oporności na działanie czynników degradujących pochodzenia komunikacyjnego. Zanieczyszczenia mogą docierać do gleby poprzez spływ powierzchniowy, a także osiadanie zanieczyszczeń zawartych w powietrzu. Na podstawie wytycznych GDDKiA, oporność gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne może być sklasyfikowana w pięciostopniowej skali (1-oporność bardzo dobra, 5-oporność bardzo słaba), jak to pokazano w Tabeli 4.

Tabela 4. Oporność poszczególnych typów gleb i kompleksów przydatności rolniczej na zanieczyszczenia komunikacyjne

| Skala | Oporność poszczególnych typów gleb i kompleksów przydatności rolniczej na zanieczyszczenia komunikacyjne |
|---------------------------|---|
| 1 – oporność bardzo dobra | Czarnoziemy, czarne ziemie i gleby brunatne właściwe utworzone na pyłach lub glinach i piaskach gliniastych mocno pylastych. Gleby te należą do kompleksów 1, 2, 10 lub 1z, 2z. |
| 2 – oporność dobra | Czarne ziemie zdegradowane utworzone na piaskach gliniastych, gleby brunatne wylugowane oraz mady utworzone na pyłach lub glinach lekkich pylastych. Gleby te należą do kompleksów 2, 4, 10, 11 i 2z. |
| 3 – oporność średnia | Czarne ziemie zdegradowane i gleby brunatne kwaśne utworzone na pyłach podścielonych płytko piaskami luźnymi lub glinami średnimi oraz na piaskach lekkich, mady utworzone z pyłów i gleby płowe. Gleby te należą do kompleksów 3, 4, 5, 8, 11. |
| 4 – oporność słaba | Czarne ziemie zdegradowane, gleby brunatne kwaśne i mady utworzone na piaskach oraz gleby rdzawe i bielcowe. Gleby te należą do kompleksów 3, 5, 6, 8, 9, 12, 13 oraz 3z. |
| 5 – oporność bardzo słaba | Gleby brunatne kwaśne utworzone na piaskach, bielcowe na piaskach oraz bielice, jak również wszystkie gleby organiczne. Gleby te należą do kompleksów 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13. |

Źródło: Krupowicz (2016)

Biorąc pod uwagę wymienione tutaj uwarunkowania jest to kryterium niezbędne przy prowadzeniu analiz.

Tereny o grupie nośności podłoża G1[%]

Warunki wodno-gruntowe podłoża konstrukcji nawierzchni drogowej opisane są przez grupy nośności, oznaczone symbolami od G1 do G4 (Tabela 5). Do sklasyfikowania niezbędna jest ocena podłoża pod kątem warunków wodnych do głębokości 2 metrów od spodu konstrukcji oraz rodzaju i właściwości gruntu do głębokości 1 metra od spodu. Na podstawie tej klasyfikacji można stwierdzić, które grunty zaklasyfikować jako słabe o nieodpowiedniej nośności, szczelności i oporności na działanie wody i mrozu, wymagające, zaś które jako te o odpowiedniej nośności, nadające się do lokalizowania tam inwestycji.

Tabela 5. Grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych

| Lp. | Rodzaj gruntu podłoża nawierzchni wg tablicy 8.2 | Grupa nośności podłoża gruntowego nawierzchni, gdy warunki wodne są: | | |
|-----|--|--|------------|-----|
| | | dobrze | przeciętne | złe |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Grunty niewysadzinowe | G1 | G1 | G1 |
| 2. | Grunty wątpliwe | G2 | G2 | G3 |
| 3. | Grunty mało wysadzinowe ¹⁾ | G3 | G4 | G4 |
| 4. | Grunty bardzo wysadzinowe ¹⁾ | G4 | G4 | G4 |

Źródło: Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych

Ze względu na dużą istotność warunków gruntowo-wodnych na budowę dróg kryterium to zostało uwzględnione w analizach.

Głębokość do wód >5 metrów [%]

Kryterium to określa odległość pomiędzy zwierciadłem wód podziemnych, a powierzchnią terenu. Jest ono istotne ze względu na konieczność uwzględnienia obecności wód, które stanowią barierę dla budowy dróg. Dodatkowo, najsilniej na degradację jakości wód narażone są wody gruntowe, których zwierciadło znajduje się mniej niż 5 metrów pod powierzchnią terenu. Inwestycja, jaką jest budowa drogi ekspresowej, może dość istotnie przyczynić się do pogorszenia jakości wód, w związku z tym należy ograniczać jej prowadzenie na takich terenach. Ze względu na wagę tego kryterium przyjęto je do dalszych analiz.

Zgodność przebiegu trasy z dokumentami planistycznymi [%]

To kryterium określa procentową zgodność przebiegu analizowanych wariantów z dokumentami planistycznymi, opracowywanymi przez poszczególne gminy, przez które przebiegać ma planowana obwodnica. Zgodność ta określana jest poprzez porównanie planowanego korytarza z ustaleniami miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, a gdy ich nie ma - ze studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego. Dość problematyczne jest jednak to, że na większości obszarów WOW brak jest planów miejscowych, a istniejące studia rzadko kiedy uwzględniają przebieg obwodnicy. Dlatego też zachodzi wątpliwość, czy kryterium skądinąd istotne z punktu widzenia społecznego, w odpowiedni sposób będzie wskazywać, który wariant powinien zostać wybrany. Z pewnością jednak osiągnięcie takiej zgodności oznaczałoby znaczne ułatwienie przeprowadzenia inwestycji, gdyż nie istniałaby konieczność uchwalania nowych planów, bądź wydawania decyzji o lokalizacji inwestycji celu publicznego.

Akceptacja jednostek samorządowych [%]

Kryterium określa procentową akceptację przebiegu trasy przez terytorium gmin. Jest to kryterium bardzo ważne, gdyż jako jedno z niewielu odzwierciedla stanowisko społeczności i władzy lokalnej. Problematyczne może być natomiast uzyskanie w pełni wiarygodnych informacji, dotyczących procentowej zgodności, a także możliwość wystąpienia rozbieżności pomiędzy interesami mieszkańców i władz lokalnych. Należy również zaznaczyć, że budowa tak dużej inwestycji jak obwodnica stolicy kraju wywoływać będzie zawsze skrajne emocje i osiągnięcie pełnej akceptacji jest niemożliwe, gdyż droga zawsze będzie przebiegać przez czyjś teren lub w pobliżu czyjejś działki. Jest to ponadto kryterium zmienne w czasie, gdyż stopień akceptacji może zmieniać się w zależności od wybranych władz gminy, czy też bieżących uwarunkowań wpływających na nastroje mieszkańców.

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że pomimo założonego warunku nieredundantności, wybrane kryteria pozostają ze sobą w pewnych zależnościach, a ich jednoczesna obecność może powodować do pewnego stopnia wzmocnienie lub sprzeczność oddziaływania. W tak rozumianym znaczeniu, główne sprzeczności obserwowane są pomiędzy kryteriami ekonomicznymi – długością odcinka, powierzchnią zajętego terenu, czy liczbą budynków do wyburzenia, a kryteriami ekologicznymi lub społecznymi. Przyjęcie bowiem najkrótszej lub najmniej kolizyjnej z zabudową trasy może oznaczać konieczność przecięcia obszaru cennego przyrodniczo lub istotnego z punktu widzenia oczekiwań miejscowej ludności oraz władz samorządowych. Tym samym konieczne jest pogodzenie ze sobą tych sprzeczności i wypracowanie rozwiązania kompromisowego. Podobnie, oczekiwania mieszkańców mogą pozostawać w sprzeczności z koniecznością ochrony przyrody, szczególnie ze względu na znaczną część przebiegu trasy przez obszary cenne przyrodniczo. Można natomiast stwierdzić, że w obrębie każdej z grup kryteriów – ekonomicznych, ekologicznych i społecznych, poszczególne kryteria są ze sobą powiązane w sposób zapewniający wzmocnienie ich oddziaływania.

Kryteria, które były rozpatrywane, ale nie zostały uwzględnione w analizach

Niektóre z rozważanych kryteriów nie zostały uwzględnione w dalszych analizach. Wynikało to z kilku przyczyn. Najczęstszą z nich był brak możliwości uzyskania wiarygodnych danych dotyczących danego zagadnienia lub ich obliczenia. Dotyczyło to głównie kryteriów technicznych, których realizacja wymagałaby przeprowadzenia szczegółowych obliczeń o charakterze budowlanym. Podobna sytuacja odnosiła się do kryteriów związanych z projektowaniem drogi i natężeniem ruchu. Trudno jest przewidzieć, który wariant będzie najczęściej uczęszczany lub najintensywniej wykorzystywany. Kolejnym przypadkiem nieuwzględnienia kryterium w dalszej analizie było jednakowe jego spełnienie przez wszystkie warianty. I tak, na przykład, spadki terenu na obszarze opracowania nie przekraczały dopuszczalnych wartości, a zabytki nie kolidowały z projektowanymi przebiegami drogi. Pomijane były również kryteria powtarzające treść zawartą w innym kryterium. Nieuwzględnienie wymienionych niżej aspektów w wykonywanych analizach nie oznacza jednak, że nie są one istotne z punktu widzenia projektowanej drogi.

W przypadku pełnego kompleksowego podejścia do problemu decyzja o realizacji inwestycji powinna być podjęta również w oparciu o te kryteria, jeśli będą one możliwe do wyznaczenia.

Oddziaływanie skumulowane hałasu dla roku 2035 [dB]

Kryterium to mierzy średnią wartość dobową hałasu dla całej drogi z uwzględnieniem dróg okolicznych przy założeniu, że im wyższa wartość kryterium, tym gorzej. Ze względu na to, że warianty przebiegają na niektórych obszarach trasami w różny sposób oddalonymi od zabudowy mieszkaniowej i terenów leśnych, może być to istotne kryterium, pozwalające stwierdzić, który wariant będzie najmniej uciążliwy dla mieszkańców, szczególnie tych terenów, przez które już dziś przebiegają duże ciągi komunikacyjne i hałas skumulowany byłby jeszcze większy. Należy też zaznaczyć, że jest to kryterium opisujące oddziaływanie o charakterze stałym, mające również wpływ po zakończeniu budowy drogi. Obiektywna ocena poziomu skumulowanego hałasu w 2035 roku przy dostępnych narzędziach i pozyskanych danych nie jest możliwa do sporządzenia w sposób wiarygodny, dlatego też postanowiono zrezygnować z tego kryterium. Dodatkowo w przypadku ustawienia ekranów akustycznych, oddziaływanie hałasu dla każdego z wariantów jest minimalne, a dane warianty charakteryzują się wartościami na porównywalnym poziomie.

Powierzchnia siedlisk zniszczonych w wyniku realizacji inwestycji [ha]

Kryterium to określa powierzchnię (w hektarach) cennych przyrodniczo siedlisk, która może ulec zniszczeniu w rezultacie budowy WOW. Uwzględniane mają być z założenia siedliska przyrodnicze chronione na mocy Dyrektywy Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (Dz. U. UE L z dnia 22 lipca 1992 r.), a więc takie jak torfowiska przejściowe i trzęsawiska, śródładowe wydmy z murawami napiaskowymi oraz suche wrzosowiska, jak również rzadko występujące zbiorowiska lasów olsowych i monokultur sosnowych. Jest to również kryterium, które jest istotne z punktu widzenia przyrodniczego, jednakże pokrywa się ono częściowo z poprzednimi kryteriami dotyczącymi obszarów Natura 2000, a dodatkowo dokładne wyznaczenie powierzchni poszczególnych siedlisk może być problematyczne przy założeniu wykorzystania dostępnych materiałów, dlatego też na potrzeby prowadzonych analiz kryterium to zostało pominięte.

Uciążliwość robót budowlanych [m3]

Kryterium to określa objętość mas ziemnych, które muszą być przemieszczone w ramach działań budowlanych WOW. Przyjęte zostało założenie, że 80% mas, które pochodzą z wykopu, przeznaczonych zostanie na budowę nasypu, dzięki czemu ograniczy się konieczność wywożenia lub innego sposobu zagospodarowania pozostałych mas ziemnych. Tym samym im niższa wartość tego kryterium, tym lepiej. Ze względu na to, że zaplanowane warianty są, poza niewielkimi wyjątkami, podobne do siebie, a także tworząc to opracowanie nie posiadano dostępu do specjalistycznych

danych o charakterze budowlanym uznano, że jest to kryterium niemożliwe do uwzględnienia.

Emisja tlenków azotu (roczna) [Mg/rok]

Jest to kryterium, które opisuje roczną emisję tlenków azotów do atmosfery, wynikającą z użytkowania drogi po jej wybudowaniu. Zanieczyszczenie to jest najczęściej generowane przez transport samochodowy negatywnie oddziałujący na środowisko. Ponadto duże zanieczyszczenie NO₂ w kontakcie z promieniowaniem słonecznym i innymi zanieczyszczeniami powoduje złożone reakcje fotochemiczne skutkujące opadaniem liści, chorobami płuc, a nawet nowotworami. Wielkość emisji jest w pewnym stopniu powiązana z długością odcinka i obszarami, przez które przebiega, a jednoznaczne wyznaczenie wielkości emisji może być problematyczne. Dodatkowo, według posiadanych raportów, wartość emisji zależy od natężenia ruchu na drodze, a trudno przewidzieć czy i dlaczego danym wariantem miałyby przejeżdżać więcej samochodów niż w wariantach innych. Z tego też powodu kryterium to zostało pominięte w dalszych analizach.

Ilość wód opadowych z pasa drogowego [m³/rok]

Kryterium to określa ilość wód jaka spływa z danego pasa drogowego. W związku z tym, iż jest ono powiązane z kryterium dotyczącym długości drogi, zdecydowano się pominąć je w dalszych analizach.

Ilość odpadów, gruzu [m³/rok]

Kryterium to określa objętość odpadów, jakie powstaną w wyniku budowy Wschodniej Obwodnicy Warszawy, a w szczególności gruzu i drewna, które będą musiały zostać wywiezione z terenu budowy. Jest to kryterium ekonomiczne, gdyż im więcej odpadów, tym wyższy koszt ich usunięcia. Nie są to odpady generujące zanieczyszczenia środowiska, a tym samym nie rozpatruje się tego kryterium pod kątem aspektów przyrodniczych. Dokładne wyznaczenie objętości odpadów może być dość trudne, a ponadto jest to kryterium powiązane z długością drogi i zajmowanego przez nią terenu. W związku z tym nie jest ono konieczne przy wykonywaniu analiz.

Spadki terenu [stopnie]

Jest to kryterium określające spadek terenu wyrażony w stopniach na obszarze budowy planowanej trasy. Spadki te nie powinny przekraczać 3 stopni, aby mówić o warunkach korzystnych do realizacji inwestycji bez ograniczeń. Przeprowadzono analizy spadków i stwierdzono, że na całym obszarze opracowania nie przekraczają one 3 stopni, a tym samym są na tyle niewielkie, że nie istnieje konieczność ich uwzględniania w dalszych analizach.

Liczba zabytków [sztuki]

Kryterium to określa liczbę zabytków znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie przebiegającej obwodnicy, a tym samym których istnienie jest zagrożone w wyniku jej realizacji. Zabytki zostały zidentyfikowane na podstawie danych pochodzących z rejestrów i ewidencji zabytków oraz wyznaczone na mocy ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami. Stwierdzono, że żaden z zabytków nie znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie planowanej drogi ekspresowej i z tego względu kryterium to zostało pominięte w dalszych badaniach.

5. Analizy prowadzące do otrzymania najlepszego wariantu

Pierwszym krokiem w przeprowadzonych analizach było obliczenie i zestawienie wartości poszczególnych kryteriów przyjętych we wcześniejszym etapie opracowania.

Tabela 6. Wartości kryteriów (przed standaryzacją) dla wariantów z 2005 roku

| Kryterium | WI | WII | WIII | WIIIA |
|--|----------|----------|----------|---------|
| Długość odcinka (km) | 20,42 | 19,66 | 26,24 | 20 |
| Powierzchnia zajętego terenu (ha) | 110,29 | 106,49 | 135,43 | 110,22 |
| Liczba budynków przeznaczonych do wyburzenia (szt.) | 306 | 201 | 281 | 313 |
| Długość potrzebnych ekranów akustycznych (m) | 11962,33 | 12153,09 | 11215,67 | 11636,6 |
| Powierzchnia lasów (ha) | 68,04 | 64,62 | 79,73 | 68,58 |
| Ograniczenie powiązań przyrodniczych obszaru Natura 2000 – Strzebla Błotna | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Odległość od obszaru Natura 2000 – Poligon Rembertów (m) | 626,98 | 616,31 | 0 | 624,78 |
| Liczba stanowisk gatunków chronionych zniszczonych (sztuki) | 58 | 50 | 58 | 55 |
| Zajęcie terenu Parku Krajobrazowego i Obszaru Chronionego Krajobrazu (ha) | 81,86 | 63,23 | 90,9 | 84,62 |
| Korzystne warunki glebowe (%) | 22,97% | 26,86% | 31,59% | 22,10% |
| Korzystne warunki geologiczne (%) | 93,00% | 91,40% | 80,98% | 92,95% |
| Odporność gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne (% kl. 5) | 98,78% | 95,32% | 86,89% | 98,75% |
| Tereny o grupie nośności podłoża G1 (%) | 52,89% | 39,52% | 22,60% | 51,50% |
| Głębokość do wód >5 m (%) | 47,06% | 45,98% | 32,32% | 46,55% |
| Zgodność przebiegu trasy z dokumentami planistycznymi (%) | 85,39% | 77,68% | 26,68% | 98,58% |
| Akceptacja jednostek samorządowych (%) | 25% | 50% | 65% | 55% |

Źródło: opracowanie własne autorów

Wartości poszczególnych kryteriów dla analizowanych wariantów zostały obliczone na podstawie analiz przestrzennych wykonanych w środowisku ArcGIS i obejmowały operacje dotyczące m.in. obliczania parametrów obiektów wektorowych, tworzenia buforów, przecinania warstw. Wykorzystywano w tym celu numeryczny model terenu, bazę danych obiektów topograficznych BDOT10k, opracowania kartograficzne (mapy glebowo-rolnicze, geologiczne, hydrogeologiczne) i planistyczne (miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego), z których część wymagała digitalizacji. Szerzej proces ten został opisany w pracy dyplomowej autorów artykułu (Kuzak, Patoka, 2018). W rezultacie otrzymano wyniki, które zostały pokazane w Tabeli 6.

Następnie dokonano standaryzacji w celu sprowadzenia wartości wszystkich kryteriów do tego samego przedziału wartości i pozbycia się ich jednostek (wyniki przedstawiono w Tabeli 7). W tym przypadku był to przedział $\langle 0,1 \rangle$. Zastosowano w tym celu następujące wzory, omówione już w sekcji 3 artykułu:

w przypadku kryteriów maksymalizowanych:

$$n(r, k) = \frac{w(r, k)}{\max_{r \in R} \{w(r, k)\}}$$

zaś w przypadku kryteriów minimalizowanych:

$$n(r, k) = \frac{\min_{r \in R} \{w(r, k)\}}{w(r, k)}$$

gdzie $w(r, k)$ to ocena wariantów według poszczególnych kryteriów. W ten sposób kryteria przyjęły wartości zawarte w Tabeli 7.

Tabela 7. Zestandaryzowane wartości kryteriów dla wariantów z 2005 roku

| Kryterium | WI | WII | W III | WIIIA |
|--|-----------|------------|--------------|--------------|
| Długość odcinka (km) | 0,963 | 1 | 0,749 | 0,983 |
| Powierzchnia zajętego terenu (ha) | 0,966 | 1 | 0,786 | 0,966 |
| Liczba budynków przeznaczonych do wyburzenia (szt.) | 0,657 | 1 | 0,715 | 0,642 |
| Długość potrzebnych ekranów akustycznych (m) | 0,938 | 0,923 | 1 | 0,964 |
| Powierzchnia lasów (ha) | 0,95 | 1 | 0,81 | 0,942 |
| Ograniczenie powiązań przyrodniczych obszaru Natura 2000 – Strzebla Błotna | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Odległość od obszaru Natura 2000 – Poligon Rembertów (m) | 1 | 0,983 | 0 | 0,996 |
| Liczba stanowisk gatunków chronionych zniszczonych (sztuki) | 0,862 | 1 | 0,862 | 0,909 |

Tabela 7. Zestandaryzowane wartości kryteriów dla wariantów z 2005 roku, c.d.

| Kryterium | WI | WII | W III | WIIIA |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Zajęcie terenu Parku Krajobrazowego i Obszaru Chronionego Krajobrazu (ha) | 0,772 | 1 | 0,696 | 0,747 |
| Korzystne warunki glebowe (%) | 0,727 | 0,85 | 1 | 0,7 |
| Korzystne warunki geologiczne (%) | 1 | 0,983 | 0,871 | 0,999 |
| Odporność gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne (% kl. 5) | 0,88 | 0,912 | 1 | 0,88 |
| Tereny o grupie nośności podłoża G1 (%) | 0,963 | 1 | 0,749 | 0,983 |
| Głębokość do wód >5 m (%) | 1 | 0,977 | 0,687 | 0,989 |
| Zgodność przebiegu trasy z dokumentami planistycznymi (%) | 0,866 | 0,788 | 0,271 | 1 |
| Akceptacja jednostek samorządowych (%) | 0,385 | 0,769 | 1 | 0,846 |

Źródło: opracowanie własne autorów

Wagi każdego z kryterium zostały określone metodą AHP poprzez porównanie ze sobą wszystkich kryteriów nawzajem, i nadanie im wartości od 1 do 9, gdzie 1 oznacza porównywalną istotność dwóch kryteriów, a 9 fakt, że jedno kryterium jest znacznie ważniejsze od drugiego (Tabela 8). Analogicznie, kryteria mniej ważne otrzymywały wartości będące odwrotnością powyższych (tzn. 1/3, 1/5, 1/9 itp.).

W celu weryfikacji poprawności przeprowadzonego porównania parami obliczono współczynnik spójności, zgodnie z zasadami, przytoczonymi w części 3 artykułu. Przyjął on wartość 0,06 tzn. mniej niż wymagane 0,10. Tym samym otrzymane wyniki są spójne i nie wymagają dokonania poprawek.

Aby otrzymać sumaryczne wyniki dla każdego wariantu, przemnożono otrzymane wartości wag przez znormalizowane wartości kryteriów, a następnie zsumowano uzyskane liczby (Tabela 9). Wynikowo stwierdzono, że najwyższą ocenę dostał wariant II, zaś najgorszym okazał się wariant III, znacząco odstający od pozostałych rezultatów.

Tabela 8. Porównanie parami kryteriów metodą AHP. Ostatnia kolumna (‘Wagi’) zawiera wartości wag uzyskane w wyniku procesu obliczeniowego opartego na metodzie AHP.

| Kryteria | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | K8 | K9 | K10 | K11 | K12 | K13 | K14 | K15 | K16 | WAGA |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| K1 | 1,00 | 0,20 | 0,20 | 0,50 | 0,14 | 0,25 | 0,33 | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,17 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,17 | 0,50 | 0,01 |
| K2 | 5,00 | 1,00 | 3,00 | 5,00 | 0,25 | 4,00 | 3,00 | 2,00 | 3,00 | 3,00 | 0,50 | 4,00 | 2,00 | 3,00 | 1,00 | 6,00 | 0,10 |
| K3 | 5,00 | 0,33 | 1,00 | 4,00 | 0,25 | 3,00 | 4,00 | 0,50 | 3,00 | 2,00 | 0,33 | 3,00 | 2,00 | 3,00 | 0,33 | 5,00 | 0,07 |
| K4 | 2,00 | 0,20 | 0,25 | 1,00 | 0,14 | 0,20 | 0,25 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | 0,13 | 0,25 | 0,20 | 0,17 | 0,13 | 2,00 | 0,01 |
| K5 | 7,00 | 4,00 | 4,00 | 7,00 | 1,00 | 5,00 | 4,00 | 3,00 | 5,00 | 4,00 | 1,00 | 4,00 | 3,00 | 4,00 | 2,00 | 8,00 | 0,16 |
| K6 | 4,00 | 0,25 | 0,33 | 5,00 | 0,20 | 1,00 | 2,00 | 0,25 | 0,33 | 1,00 | 0,20 | 2,00 | 1,00 | 0,333 | 0,20 | 5,00 | 0,04 |
| K7 | 3,00 | 0,33 | 0,25 | 4,00 | 0,25 | 0,50 | 1,00 | 0,25 | 0,50 | 0,50 | 0,17 | 0,33 | 0,33 | 0,20 | 0,17 | 4,00 | 0,03 |
| K8 | 5,00 | 0,50 | 2,00 | 6,00 | 0,33 | 4,00 | 4,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 0,50 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 0,50 | 7,00 | 0,08 |
| K9 | 4,00 | 0,33 | 0,33 | 5,00 | 0,20 | 3,00 | 2,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 5,00 | 0,04 |
| K10 | 4,00 | 0,33 | 0,50 | 4,00 | 0,25 | 1,00 | 2,00 | 0,33 | 2,00 | 1,00 | 0,25 | 2,00 | 1,00 | 0,33 | 0,25 | 5,00 | 0,04 |
| K11 | 6,00 | 2,00 | 3,00 | 8,00 | 1,00 | 5,00 | 6,00 | 2,00 | 4,00 | 4,00 | 1,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | 2,00 | 8,00 | 0,14 |
| K12 | 4,00 | 0,25 | 0,33 | 4,00 | 0,25 | 0,50 | 3,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 6,00 | 0,04 |
| K13 | 4,00 | 0,50 | 0,50 | 5,00 | 0,33 | 1,00 | 3,00 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 0,25 | 1,00 | 1,00 | 0,33 | 0,25 | 5,00 | 0,04 |
| K14 | 5,00 | 0,33 | 0,33 | 6,00 | 0,25 | 3,00 | 5,00 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 0,33 | 2,00 | 3,00 | 1,00 | 2,00 | 6,00 | 0,08 |
| K15 | 6,00 | 1,00 | 3,00 | 8,00 | 0,50 | 5,00 | 6,00 | 2,00 | 4,00 | 4,00 | 0,50 | 4,00 | 4,00 | 0,50 | 1,00 | 8,00 | 0,11 |
| K16 | 2,00 | 0,17 | 0,20 | 0,50 | 0,13 | 0,20 | 0,25 | 0,14 | 0,20 | 0,20 | 0,13 | 0,17 | 0,20 | 0,17 | 0,13 | 1,00 | 0,01 |
| SUMA | 67,00 | 11,73 | 19,23 | 73,00 | 5,48 | 36,65 | 45,83 | 14,34 | 29,48 | 28,20 | 5,95 | 31,00 | 25,98 | 18,23 | 10,62 | 81,50 | 1,00 |

Źródło: opracowanie własne autorów

Tabela 9. Wyniki otrzymane metodą punktową dla wariantów z 2005 roku

| | Wariant I | Wariant II | Wariant III | Wariant IIIA |
|-------|-----------|------------|-------------|--------------|
| WYNIK | 0,905 | 0,947 | 0,728 | 0,923 |

Źródło: opracowanie własne autorów

Podobnie, również w przypadku wariantów z 2015 roku obliczono i zestawiono wartości poszczególnych kryteriów przyjętych we wcześniejszym etapie opracowania. W rezultacie otrzymano wyniki, które pokazano w Tabeli 10.

Tabela 10. Wartości kryteriów (przed standaryzacją) dla wariantów z 2015 roku

| Kryterium | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 | W7 | W8 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Długość odcinka (km) | 14,21 | 14,16 | 13,71 | 13,76 | 14,63 | 14,12 | 14,07 | 14,58 |
| Powierzchnia zajętego terenu (ha) | 79,26 | 79,01 | 74,75 | 74,98 | 81,36 | 76,79 | 76,52 | 81,11 |
| Liczba budynków przeznaczonych do wyburzenia (szt.) | 77 | 76 | 45 | 44 | 78 | 44 | 45 | 78 |
| Długość potrzebnych ekranów akustycznych (m) | 4771,86 | 4771,86 | 4962,62 | 4962,62 | 4446,13 | 4636,89 | 4636,89 | 4446,13 |
| Powierzchnia lasów (ha) | 62,18 | 62,64 | 58,57 | 58,09 | 63,76 | 59,3 | 59,85 | 64,29 |
| Ograniczenie powiązań przyrodniczych obszaru Natura 2000 – Strzebla Błotna | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Odległość od obszaru Natura 2000 – Polygon Rembertów (m) | 593,21 | 594,83 | 521,13 | 523,63 | 182,5 | 182,06 | 182,54 | 174,81 |

Tabela 10. Wartości kryteriów (przed standaryzacją) dla wariantów z 2015 roku, c.d.

| Kryterium | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 | W7 | W8 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Liczba stanowisk gatunków chronionych zniszczonych (sztuki) | 60 | 68 | 57 | 54 | 67 | 60 | 61 | 72 |
| Zajęcie terenu Parku Krajobrazowego i Obszaru Chronionego Krajobrazu (ha) | 81,97 | 81,95 | 63,47 | 63,44 | 83,98 | 65,24 | 65,27 | 84,05 |
| Korzystne warunki glebowe (%) | 8,80% | 8,76% | 15,03% | 14,97% | 6,84% | 12,75% | 12,86% | 6,79% |
| Korzystne warunki geologiczne (%) | 97,89% | 97,88% | 96,43% | 96,58% | 98,43% | 97,73% | 97,65% | 98,35% |
| Odporność gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne (% kl. 5) | 100,0% | 100,0% | 99,42% | 99,35% | 100,0% | 99,36% | 99,36% | 100,0% |
| Tereny o grupie nośności podłoża G1 (%) | 48,63% | 53,53% | 38,44% | 33,43% | 47,51% | 32,65% | 37,60% | 52,33% |
| Głębokość do wód >5 m (%) | 49,26% | 49,44% | 47,99% | 47,75% | 48,39% | 46,60% | 46,84% | 48,56% |
| Zgodność przebiegu trasy z dokumentami planistycznymi (%) | 79,00% | 98,00% | 68,00% | 48,00% | 49,00% | 22,00% | 41,00% | 69,00% |
| Akceptacja jednostek samorządowych (%) | 15% | 50% | 50% | 10% | 15% | 10% | 25% | 50% |

Źródło: opracowanie własne autorów

Stosując podane wcześniej wzory dokonano normalizacji wartości poszczególnych kryteriów do przedziału $<0,1>$. Dzięki temu zostały one sprowadzone do wartości względnych, niezależnych od jednostek i mogły być dalej wykorzystane do analiz (Tabela 11).

Tabela 11. Zestandaryzowane wartości kryteriów dla wariantów z 2015 roku

| Kryterium | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 | W7 | W8 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Długość odcinka (km) | 0,965 | 0,968 | 1 | 0,996 | 0,937 | 0,971 | 0,974 | 0,94 |
| Powierzchnia zajętego terenu (ha) | 0,943 | 0,946 | 1 | 0,997 | 0,919 | 0,973 | 0,977 | 0,922 |
| Liczba budynków przeznaczonych do wyburzenia (szt.) | 0,571 | 0,579 | 0,978 | 1 | 0,564 | 1 | 0,978 | 0,564 |
| Długość potrzebnych ekranów akustycznych (m) | 0,932 | 0,932 | 0,896 | 0,896 | 1 | 0,959 | 0,959 | 1 |
| Powierzchnia lasów (ha) | 0,934 | 0,927 | 0,992 | 1 | 0,911 | 0,98 | 0,97 | 0,904 |
| Ograniczenie powiązań przyrodniczych obszaru Natura 2000 – Strzebla Błotna | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Odległość od obszaru Natura 2000 – Poligon Rembertów (m) | 0,997 | 1 | 0,876 | 0,88 | 0,307 | 0,306 | 0,307 | 0,294 |
| Liczba stanowisk gatunków chronionych zniszczonych (sztuki) | 0,9 | 0,794 | 0,947 | 1 | 0,806 | 0,9 | 0,885 | 0,75 |
| Zajęcie terenu Parku Krajobrazowego i Obszaru Chronionego Krajobrazu (ha) | 0,774 | 0,774 | 1 | 1 | 0,755 | 0,972 | 0,972 | 0,755 |
| Korzystne warunki glebowe (%) | 0,585 | 0,583 | 1 | 0,996 | 0,455 | 0,848 | 0,856 | 0,452 |
| Korzystne warunki geologiczne (%) | 0,995 | 0,994 | 0,98 | 0,981 | 1 | 0,993 | 0,992 | 0,999 |
| Odporność gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne (% kl. 5) | 0,993 | 0,993 | 0,999 | 1 | 0,993 | 1 | 1 | 0,993 |
| Tereny o grupie nośności podłoża G1 (%) | 0,908 | 1 | 0,718 | 0,625 | 0,887 | 0,61 | 0,702 | 0,978 |
| Głębokość do wód >5 m (%) | 0,996 | 1 | 0,971 | 0,966 | 0,979 | 0,943 | 0,947 | 0,982 |
| Zgodność przebiegu trasy z dokumentami planistycznymi (%) | 0,806 | 1 | 0,694 | 0,49 | 0,5 | 0,224 | 0,418 | 0,704 |
| Akceptacja jednostek samorządowych (%) | 0,3 | 1 | 1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 1 |

Źródło: opracowanie własne autorów

Następnie przyjęto wagi wyznaczone wcześniej za pomocą metody AHP. Zostały one przemnożone przez znormalizowane wartości kryteriów dając w rezultacie ocenę poszczególnych wariantów (Tabela 12.). Wynikowo stwierdzono, że

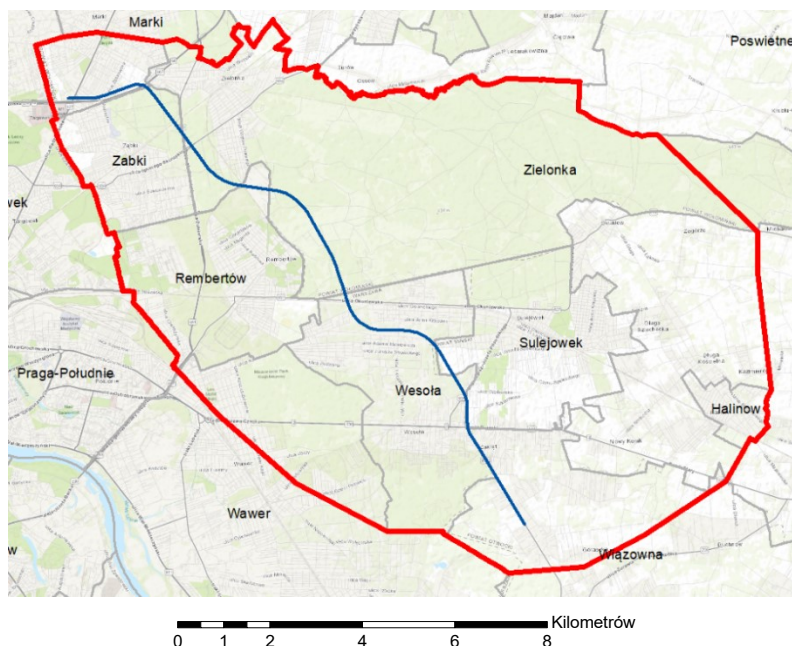
najwyższą ocenę dostał wariant 4, zaś najgorszym okazał się wariant 8. Ponadto można wyraźnie zauważyć, że warianty 1-4 otrzymały wyższe oceny od wariantów 5-8.

Tabela 12. Wyniki otrzymane metodą punktową dla wariantów z 2015 roku

| | Wariant 1 | Wariant 2 | Wariant 3 | Wariant 4 | Wariant 5 | Wariant 6 | Wariant 7 | Wariant 8 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| WYNIK | 0,88 | 0,87 | 0,90 | 0,91 | 0,81 | 0,84 | 0,83 | 0,80 |

Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 7. Wariant II (linia ciągła), który uzyskał najwyższą ocenę dla wariantów z 2005 roku

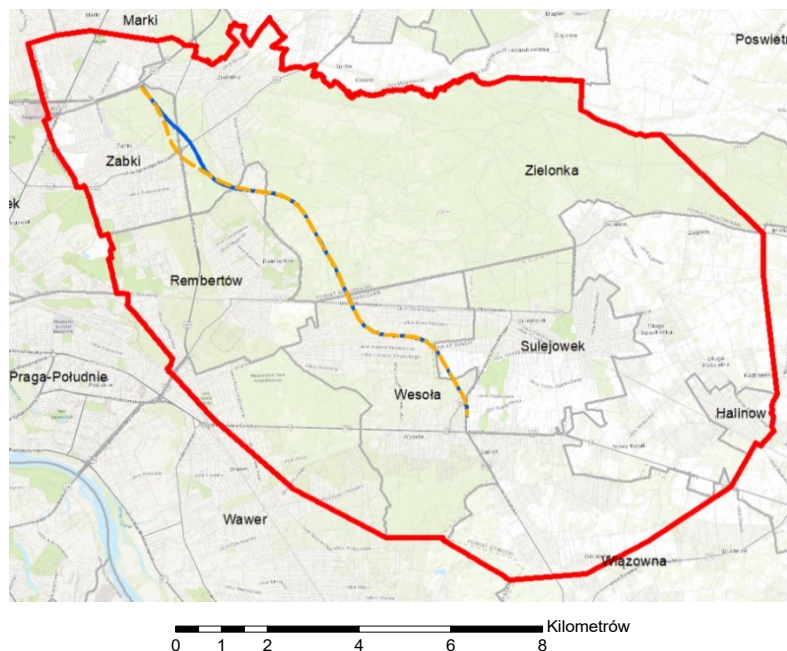


Źródło: Opracowanie własne

Wyniki otrzymane dla 2005 i 2015 roku porównano z otrzymanymi w raportach oddziaływania na środowisko (Rys. 7 i Rys. 8). W przypadku 2005 roku wybrany został ten sam wariant WII, jednak w przypadku 2015 roku wystąpiła już różnica (W4 na podstawie analiz, W3 na podstawie raportu). Należy przy tym zaznaczyć, że właśnie w 2015 roku porównywane warianty różniły się od siebie w mniejszym stopniu i nawet niewielka zmiana zestawu kryteriów, przypisanych im wag oraz metodyki analiz może mieć istotny wpływ na otrzymany wynik. Tym

samym szczególnie ważne jest przyjęcie odpowiednich założeń oraz wybór właściwej metody, co bardziej szczegółowo zostanie opisane w oddzielnej publikacji.

Rys. 8. Wariant 4 (linia przerywana), który uzyskał najwyższą ocenę wg metody punktowej oraz Wariant 3 (linia ciągła), który uzyskał najwyższą ocenę wg raportu z 2015 roku



Źródło: Opracowanie własne

6. Podsumowanie

Możliwości wykorzystania analiz wielokryterialnych w okresie planowania inwestycji, w tym przypadku drogowych, są z pewnością bardzo duże. Dzięki nim możliwe jest, na przykład, sumaryczne porównanie poszczególnych wariantów przebiegu trasy pod względem różnego rodzaju kryteriów. Kryteria te dodatkowo muszą mieć nadane wagi określające, które z nich jest mniej lub bardziej ważne dla projektowanej drogi. Proces decyzyjny opierać się powinien jednak o możliwie obiektywną, spójną metodykę wyboru najlepszego rozwiązania. Tym samym może to pomóc uniknąć sytuacji, w której np. autorzy raportów sami dokonują często subiektywnej oceny jaka metodyka będzie najlepsza albo wręcz samodzielnie ją wymyślają. Skutkować to może zbytnią generalizacją analizowanych danych, czy rozszerzeniem pola do manipulacji w prowadzonych analizach. Łatwo bowiem wtedy uzyskać sytuację, w której zmiana jednej wartości może doprowadzić do całkowitego odwrócenia rankingu wartości wariantów. Jakimś kierunkiem działania może być np. oparcie analizy na metodzie AHP lub jej modyfikacjach (czy też metodzie ANP)

pozwalających na uzyskanie bardziej obiektywnego wyniku. Niewątpliwie jest to jednak zagadnienie wymagające przeprowadzenia szerszej konsultacji w środowisku wykonawców i odbiorców tego typu analiz.

Z badania raportów powstających w ostatnich latach widoczny jest ponadto brak określonego zestawu kryteriów, które każdorazowo powinny być uwzględnione podczas planowania inwestycji drogowej. Część z nich wynika wprost z przepisów prawa, jednakże autorzy raportów zdają się ich nie dostrzegać lub być może celowo je pomijać. W artykule starano się więc wybrać te kryteria, które przy dostępnym zasobie danych były możliwe do określenia i w oparciu o nie porównać wyniki z otrzymanymi w opisanych raportach. W przypadku małego zróżnicowania wartości dokonywany wybór był podobny w przypadku wyboru różnych metodyk, jednak w przypadku większych różnic widoczne już mogą być rozbieżności.

Dodatkowym aspektem, niezbędnym do uwzględnienia w przypadku planowania inwestycji drogowej, jest postępowanie zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju. Tym samym muszą być uwzględnione nie tylko aspekty ekonomiczne, czy nawet środowiskowe. Bardzo ważne są również uwarunkowania społeczne, gdyż to ostateczna akceptacja jednostek samorządowych, czy miejscowej ludności ma niebagatelny wpływ na możliwość realizacji inwestycji. Bardzo często pominięcie tych aspektów powoduje liczne protesty i wydłużenie czasu realizacji do wielu lat, tak jak w analizowanym przypadku. Rolą inwestora jest odpowiednie poinformowanie miejscowej ludności o planowanej trasie, ewentualnych ograniczeniach i rozwiązaniach zapobiegających nadmiernej uciążliwości dla mieszkańców np. w postaci pasów zieleni czy ekranów akustycznych.

Uwzględnienie wszystkich wymienionych wyżej aspektów oraz zintegrowanie kryteriów w oprogramowaniu GIS pozwolić może docelowo na bardziej przejrzyste tworzenie analiz. Umożliwiają one bowiem znaczne skrócenie i ułatwienie procesu analitycznego, a także obrazowo przedstawiają, który wariant i dlaczego powinien zostać wybrany, a który odrzucony. Pomóc temu może z pewnością rozwój usług pozwalających na dostęp do danych przestrzennych poprzez geoportale i serwisy WMS oraz WFS, które w przypadku niektórych danych nie są dostępne. Znaczenie analiz wielokryterialnych w planowaniu przestrzennym i wyborze odpowiedniej lokalizacji obiektu jest więc niebagatelne, a ich rozwój w oparciu o wyżej wymienione zasady przyczyni się do ułatwienia przebiegu wielu inwestycji, w tym w ramach raportów oddziaływania na środowisko.

Literatura

- Alonso J., Lamata M. (2006) Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, World Scientific Publishing Company, Hackensack, **14**, 4, 445–459.
- Błachowski J., Rybakiewicz W., Warczewski W., Malczewski P (2016) Zastosowanie analiz wielokryterialnych w GIS do optymalizacji planowania obszarów

- zabudowy mieszkaniowej na przykładzie Wrocławskiego Obszaru Funkcjonalnego. *Roczniki Geomatyki*, **XIV**, 5, 561-571.
- Białousz S. (2013) Rozważania metodyczne o informacji przestrzennej. [W:] Białousz S. (red.), *Informacja przestrzenna dla samorządów terytorialnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1-24.
- Chmiel J. (2013) Analizy przestrzenne i modelowanie. [W:] Białousz S. (red.), *Informacja przestrzenna dla samorządów terytorialnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 217-266.
- Findeisen W. (red.) (1985) *Analiza systemowa – podstawy i metodologia*. PWN, Warszawa.
- Jacyca M. (2009) *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Krupowicz W. (2016) Metodyka kształtowania sieci dróg w pracach scaleniowych na obszarach wiejskich z uwzględnieniem aspektów środowiskowo-krajobrazowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Kuzak Ł., Patoka P. (2018) Wykorzystanie metod analizy wielokryterialnej dla oceny wariantów Wschodniej Obwodnicy Warszawy z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju. Praca dyplomowa magisterska opracowana pod kierunkiem J. Chmiela. Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Malczewski J., Jaroszewicz J. (2018) *Podstawy analiz wielokryterialnych w systemach informacji przestrzennej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Matuszewski A. (2007) Analiza wariantów przebiegu trasy S-7 przez gminę Łomianki z wykorzystaniem technologii GIS. Praca dyplomowa magisterska opracowana pod kierunkiem J. Chmiela, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Praca zbiorowa (2015) *Raport o oddziaływaniu na środowisko – Wschodnia Obwodnica Warszawy – na odcinku od węzła „Drewnica” do węzła „Zakręt”*. Jacobs Polska Sp. z o.o., Warszawa.
- Praca zbiorowa (2005) *Raport o oddziaływaniu na środowisko – Wschodnia Obwodnica Warszawy – na odcinku od węzła „Marki” do węzła „Lubelska”*. PROFIL Sp. z o.o., Warszawa.
- <http://www.siskom.waw.pl/aktualnosci.html>
- <http://www.wesola.waw.pl/strona/wschodnia-obwodnica-warszawy>

THE USE OF MULTICRITERIA ANALYSIS IN ROAD PLANNING

The subject of the article is the use of multi-criteria analysis methods for the assessment of variants of the Warsaw Eastern Bypass (WOW) road, taking into account the principles of sustainable development. The issues raised in it concern the construction of one of the most needed bypasses in the country, whose implementation was planned some 70 years ago and has been going on for about 30 years. The choice of the optimal route variant involves the necessity to take into account not only the economic aspects, but also the needs of the local community, the environment and the methodology of analysis, as little as possible susceptible to subjective factors. Until now, many of these aspects have not been considered, and the respective analyses have often been based on political arguments.

Keywords: multicriteria analysis, Warsaw Eastern Bypass, sustainable development