

BUDZYŃSKI Marcin<sup>1</sup>  
KASZUBOWSKI Daniel<sup>2</sup>

## Metoda AHP/ANP jako narzędzie wyboru wariantów inwestycji drogowej z uwzględnieniem aspektu bezpieczeństwa ruchu drogowego

### WSTĘP

Proces inwestycyjny w zakresie inwestycji projektów drogowych wymaga podejmowania szeregu decyzji na poszczególnych etapach jej realizacji. Kluczową decyzją jest jednak wybór optymalnego wariantu inwestycji, ponieważ wpływa to bezpośrednio na zakres inwestycji oraz jej parametry użytkowe po ukończeniu.

Wybór określonego wariantu inwestycyjnego jest procesem wiążącym się z wymiernymi konsekwencjami (finansowymi, transportowymi, środowiskowymi, oddziaływaniem na bezpieczeństwo uczestników ruchu itp.), konieczne jest więc jego wsparcie metodami naukowymi. Dla typowej oceny społeczno – ekonomicznego oddziaływania poszczególnych wariantów inwestycji wystarczająca jest szeroko stosowana analiza kosztów – korzyści (CBA).

W przypadku jednak, gdy analiza kosztów – korzyści nie jest wystarczająca dla oceny oddziaływania projektu (brak metod wyceny dla skutków inwestycji) należy rozważyć zastosowanie analizy wielokryterialnej. Celem analiz wielokryterialnych jest wybór rozwiązania optymalnego z punktu widzenia celu inwestycji, pod kątem różnych kryteriów o charakterze ilościowym oraz jakościowym. Pozwala to na praktyczne uwzględnienie czynników związanych zarówno z technicznymi parametrami inwestycji, jak i jej oddziaływaniem na otoczenie czy możliwością uzyskania poprawy w obszarach wcześniej zidentyfikowanych jako problemowe. Narzuca to jednak konieczność rzetelnego opracowania zbioru kryteriów kontrolnych oraz ustalenia ich znaczenia w procesie decyzyjnym tak, aby uzyskać wiarygodne i powtarzalne wyniki.

### 1 WYBÓR METODY AHP/ANP JAKO NARZĘDZIA BADAWCZEGO

W prezentowanym artykule zastosowano dwuetapową procedurę wykorzystującą metody AHP/ANP (analitycznego procesu hierarchicznego i sieciowego). Stworzona została hierarchiczna struktura decyzyjna uwzględniająca zbiór kryteriów i podkryteriów min.: dotyczących bezpieczeństwa, transportu, środowiska i parametrów technicznych. W celu określenia wag kryteriów decyzyjnych opracowano odrębny model sieciowy ANP, który umożliwił praktyczną ocenę ich znaczenia w odniesieniu do czynników określających ich znaczenie w procesie decyzyjnym.

Dobór odpowiedniej metody wyboru wariantów inwestycji transportowych jest przedmiotem szerokiej dyskusji. Analiza CBA, pomimo szerokiego zastosowania w ocenie projektów transportowych, jest jednocześnie często przedmiotem krytyki. Wskazywane są problemy z wyceną kryteriów takich jak jakość życia lub pomijaniem ich w analizie [1], trudnością w uchwyceniu możliwych efektów synergicznych [2], problemami z uwzględnieniem zmienności kryteriów [3], [4] czy nadmierną koncentracją nad usprawnieniem ruchu przy pominięciu innych kryteriów [5].

W ocenie inwestycji transportowych z zastosowaniem metody CBA problemem są zmienne o trudnym wymiernym charakterze, takim jak hałas, koszty wypadków, zanieczyszczenie powietrza itd [6]. Nie podejmując się rozstrzygnięcia dyskusji o przewadze jednej z metod, zaproponowano wielokryterialne wspomaganie decyzji wyboru optymalnego rozwiązania inwestycyjnego. Jeden z najczęściej stosowanych podziałów metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji uwzględnia [7]:

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej; 80-233 Gdańsk; ul. Narutowicza 11/12. Tel. +48 604 460 466, E-mail: mbudz@pg.gda.pl

<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej; 80-233 Gdańsk; ul. Narutowicza 11/12. Tel. +48 692-478-220, E-mail: dankasz@pg.gda.pl

- metody wieloatrybutowej teorii użyteczności (AHP/ANP, UTA)
- metody oparte na relacji przewyższania (Electre I-IV, Promethee I i II, Oreste),
- metody interaktywne (GDF, SWT, LBS, STEM).

Metoda analitycznego procesu sieciowego AHP pozwala na dekompozycję problemu decyzyjnego do postaci hierarchii kryteriów, podkryteriów i alternatyw. Struktura hierarchiczna jest uporządkowana w kierunku elementów o malejącej ważności, poczynając od sformułowania problemu decyzyjnego. Elementy są porównywane w parach na każdym poziomie hierarchii. Porównania są dokonywane za pomocą relatywnej skali ocen (priorytetów) dla policzalnych i niepoliczalnych kryteriów. Bazą są werbalne opinie ekspertów, istniejące pomiary czy inne dane niezbędne do podjęcia decyzji [8]. Aby dokonać pomiaru kryteriów niepoliczalnych, należy dotychczas wyrażane opinie w postaci werbalnej przedstawić w postaci numerycznej za pomocą fundamentalnej skali porównań Saaty'ego [9]. Metoda ANP jest rozwinięciem AHP. Różnicę stanowią wprowadzenie sprzężeń zwrotnych zamiast wyłącznie jednokierunkowych powiązań, jak w AHP oraz przedstawienie problemu decyzyjnego w postaci sieci stanowiącej system komponentów. Analityczny proces sieciowy może być stosowany w bardziej złożonych problemach decyzyjnych tam, gdzie trudno jednoznacznie określić hierarchię kryteriów. Szczególnie cenne w tej metodzie jest zastosowanie dodatkowych sprzężeń zwrotnych, odwrotnych co do kierunku niż relacje hierarchiczne. Pozwalają one na uwzględnienie często specyficznego znaczenia kryteriów decyzyjnych w odniesieniu do poszczególnych alternatyw, odzwierciedlając niejednorodne problemy decyzyjne. Poprzez sumaryczną ocenę istotności poszczególnych kryteriów w relacji do alternatyw możliwe jest stworzenie dokładniejszej struktury wag kryteriów. Można wskazać przykłady wykorzystania metody ANP w wyborze optymalnego wariantu inwestycji drogowych [10], wyboru terminala kontenerowego [11], czy wariantu linii kolejowej [12]. Pozwala to przybliżyć się do rozwiązania najtrudniejszego problemu w konstruowaniu modelu decyzyjnego opartego o metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji, jakim jest racjonalne określenie wag kryteriów decyzyjnych. Jest to problem analizowany w literaturze z zastosowaniem różnych kombinacji metod i rozwiązań, na przykład [13], [14].

W analizowanym przypadku zdecydowano o zastosowaniu dwuetapowego podejścia służącego wielokryterialnej ocenie wariantu inwestycji drogowej. Wagi kryteriów decyzyjnych zostały opracowane za pomocą metody ANP, pozwalającej na elastyczniejsze podejście do rozpatrywanych alternatyw z punktu widzenia charakteru problemu decyzyjnego, w tym przypadku inwestycji drogowych, zróżnicowanych pod względem położenia (obszar zabudowany i niezabudowany), klasy drogi budowanej lub modernizowanej oraz zakresem (inwestycja liniowa lub punktowa). Model ANP będzie miał w tym przypadku charakter oceny eksperckiej, będącej pochodną doświadczeń w zakresie planowania inwestycji drogowych oraz ograniczeń dotychczas stosowanych metod wyboru ich wariantów. Uzyskane wagi kryteriów decyzyjnych zostaną następnie przeniesione do modelu hierarchicznego, gdzie za ich pomocą nastąpi ocena konkretnych wariantów wybranej inwestycji drogowej. Takie podejście pozwoli połączyć zalety metod AHP i ANP oraz zweryfikować ich przydatność w przykładowej sytuacji decyzyjnej.

## 2 PROBLEMY DECYZYJNE PRZY WYBORZE WARIANTU INWESTYCJI DROGOWEJ

Sytuacja decyzyjna w trakcie procesu inwestycyjnego polega na wyborze wariantu ze zbioru elementów dopuszczalnych. Takimi elementami dopuszczalnymi są warianty, których realizacja jest realna tzn. nie występuje ich dyskwalifikacja ze względu na np. budżet inwestora, który nie może być przekroczony, lokalizację wariantu, która jest dopuszczalna ze względu na obowiązujące przepisy prawne, technologię wykonania, która jest dostępna, itp.

Wybór wariantu z powyższego zbioru nie gwarantuje jednak, że podjęta decyzja przyniesie pożądane w stosunku do określonego celu inwestycji, skutki oraz zapewnienie odpowiedniego poziomu efektywności. W tym celu konieczna jest optymalizacja wyboru, do celów której służyć może analiza wielokryterialna, a jej wynikiem powinno być podjęcie decyzji optymalnej dla założonych warunków brzegowych.



W celu optymalnego wyboru należy przeprowadzić analizę wszystkich wariantów dopuszczalnych pod względem stopnia realizacji celu przez te warianty, co sprawia często duże trudności w przypadku gdy inwestycja jest bardzo rozbudowana i występuje duża liczba wariantów dopuszczalnych. Cel inwestora (decydenta) rozbija się wówczas na cele cząstkowe, w zależności od wymagań sytuacji decyzyjnej. Cele cząstkowe dobiera się w ten sposób, by umożliwić ocenę wariantów pod względem realizacji przez nie tych celów, czyli cele cząstkowe są jednocześnie kryteriami oceny poszczególnych wariantów. Każdemu wariantowi zostaje w ten sposób przypisany zestaw ocen ze względu na każde z kryteriów.

Analiza wielokryterialna zmierza do ustalenia preferencji względem wariantów poprzez odniesienie się do określonych celów zidentyfikowanych przez podmioty podejmujące decyzję – w tym przypadku będą to przede wszystkim zarządy drogowe (GDDKiA, Zarządy Dróg Wojewódzkich, Zarządy Dróg Powiatowych, Gminy, Zarządy Dróg Miejskich). Dla tych celów należy ustalić mierzalne kryteria oceny stopnia ich osiągnięcia w każdym ze zidentyfikowanych wariantów. W rezultacie przeprowadzenia analizy wielokryterialnej warianty inwestycyjne zostają uszeregowane wg liczby przyznanych punktów.

W części wykonywanych inwestycji drogowych wystarczającym narzędziem do oceny poszczególnych wariantów jest analiza społeczno - ekonomiczna oddziaływania danej inwestycji. Szczególnie dotyczy to sytuacji, kiedy przewidzianych do realizacji jest niewielka liczba wariantów, lub inwestycja nie jest szczególnie rozbudowana i nie ingeruje w znaczący sposób w otoczenie (np. budowa chodnika, nieznaczna przebudowa skrzyżowania, wymiana konstrukcji nawierzchni, itp.).

W sytuacji, kiedy występuje większa liczba wariantów, inwestycja jest rozbudowana, szczególnie dotyczy to różnych potencjalnych lokalizacji (np. budowa nowego połączenia drogowego), zastosowanie tylko analizy społeczno – ekonomicznej nie jest wystarczające, ponieważ analiza ta nie uwzględnia np. ingerencji w środowisko naturalne czy w środowisko społeczne. Brak też w tej analizie możliwości oceny jakościowej dla wybranych kryteriów. Po uzasadnieniu konieczności zastosowania analizy wielokryterialnej do oceny wariantów inwestycji kolejnym wyzwaniem jest ustalenie celów cząstkowych, będących jednocześnie kryteriami oceny, a przede wszystkim znaczenia poszczególnych kryteriów w procesie decyzyjnym. Znaczenie poszczególnych kryteriów, czyli ich wagi są kluczowym elementem analizy wielokryterialnej i ich właściwy dobór przesądza o wyborze konkretnego wariantu.

Proponowana metoda analizy wielokryterialnej między innymi ma na celu zobiektywizowanie doboru wag kryteriów oraz ułatwienie w wyborze wariantów dla bardzo zróżnicowanych inwestycji drogowych.

### **3 TYPY INWESTYCJI, WYBRÓR I OCENA KRYTERIÓW DECYZYJNYCH W MODELU ANP**

Poniższa metoda zawiera próbę ogólnej oceny wariantów inwestycji drogowych, bez rozróżniania typu inwestycji, jej położenia (obszar zabudowy i poza obszarem zabudowy) oraz zakresu. W celu zwiększenia jej efektywności w kolejnych krokach należy opracować szczegółowe parametry dla podanych powyżej elementów. Schemat ogólnego podziału przedstawiono na rys. 1. Wyróżniono podział na inwestycje liniowe i punktowe. Przy inwestycjach liniowych wyróżniono długie odcinki drogowe oraz budowę lub przebudowę odcinków jednorodnych pod względem przekroju poprzecznego i obszaru lokalizacji.

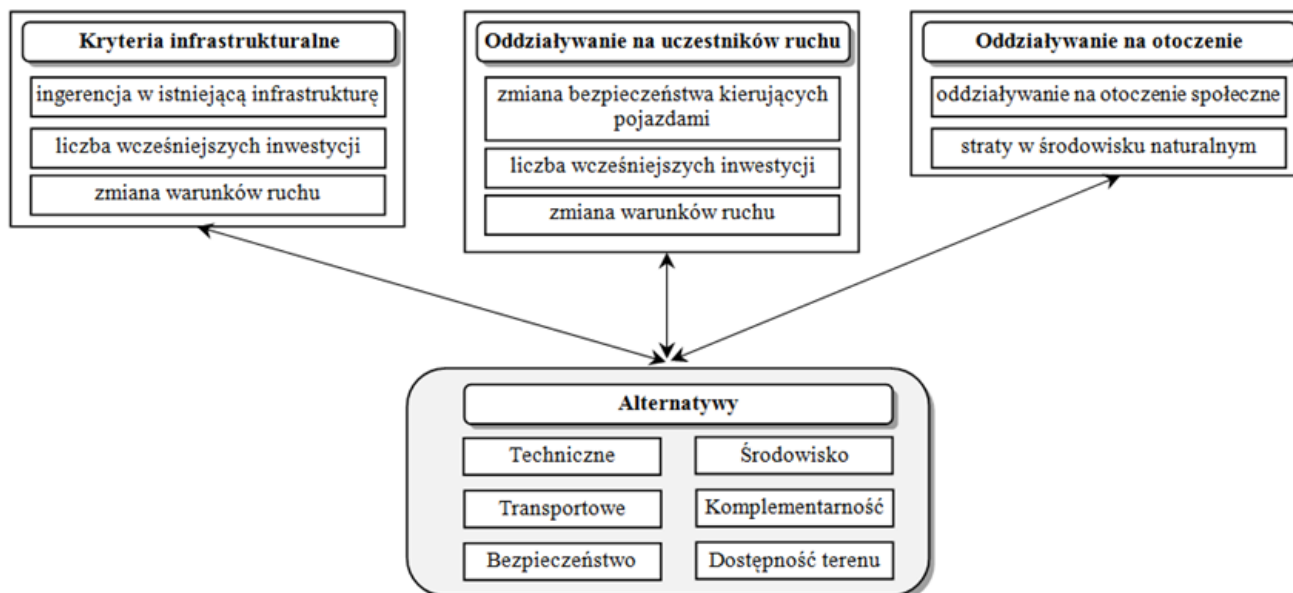
Dalszy podział inwestycji drogowych będzie dotyczyć przede wszystkim klasy drogi. Należy rozróżnić budowę drogi ruchu szybkiego (drogi ekspresowe i autostrady), pozostałe drogi krajowe oraz drogi na poziomie samorządowym (wojewódzkie, powiatowe i gminne). Dodatkowy rodzaj inwestycji to te położone na terenach typowo miejskich. Docelowo dla każdego rodzaju inwestycji należy opracować zestaw potencjalnych kryteriów oraz ich wagi.

Dla potrzeb analizy wielokryterialnej z wykorzystaniem metody AHP/ANP zastosowano następujące alternatywy wyjściowe:



- techniczne – obejmuje zakresem: zastosowaną technologię wykonania, kolizje z istniejącym uzbrojeniem terenu, kolizje z miejscowym planem zagospodarowania terenu – kryterium niezbędne do oceny jakości wykonania oraz zróżnicowania ingerencji w istniejącą infrastrukturę,
- transportowe – obejmuje zakresem: przepustowość elementów sieci drogowej oraz czas podróży – kryterium niezbędne do oceny warunków ruchu dla analizowanej inwestycji,
- bezpieczeństwa – obejmuje zakresem: liczbę wypadków, liczbę ofiar wypadków oraz ich koszty; kryterium niezbędne do oceny poziomu bezpieczeństwa inwestycji w stosunku do stanu istniejącego,
- środowiskowe – obejmuje zakresem ingerencję inwestycji w środowisko społeczne i środowisko naturalne ze szczególnym uwzględnieniem obszarów Natura 2000,
- komplementarność – obejmuje zakresem dopasowanie do wcześniejszych działań podejmowanych na analizowanym odcinku drogowym, lub w danym obszarze (gmina, powiat, miasto itp.), wskazuje na ile dana inwestycja rozwija już wdrażane działania,
- dostępność terenu – wskazuje, czy dana inwestycja pozwoli na zwiększenie dostępności przyległych terenów, przez co wzrośnie ich atrakcyjność z punktu widzenia potencjalnych inwestycji.

Rysunek 1 przedstawia strukturę modelu decyzyjnego ANP, natomiast tabela 1 zawiera wyniki porównań parami zgodnie z zasadami metody AHP/ANP opracowane na podstawie tzw.: ważonej supermacierzy w programie *SuperDecisions* służącym do tworzenia modeli decyzyjnych oraz ich analizy. Tabela w pierwszej części przedstawia wyniki porównań o charakterze hierarchicznym w klasycznej relacji kryterium - alternatywa. Natomiast w jej drugiej części znajdują się wyniki porównań o charakterze relacji zwrotnej, służących określeniu wag kryteriów decyzyjnych. Wszystkie wartości przedstawione w tabeli są ważone, czyli uwzględniające wzajemne relacje pomiędzy elementami (kryteriami i alternatywami). Wartości nieważone, czyli wynikające z bezpośrednich porównań pomiędzy elementami, można odczytać z tzw.: supermacierzy nieważonej w programie *SuperDecisions*.



Rys. 1 Struktura modelu decyzyjnego ANP



Tab. 1. Ważone macierze porównań w modelu ANP

Macierz porównań parami w relacji kryterium - alternatywy							
kryteria \ alternatywy	ingerencja w istniejącą infrastrukturę	liczba wcześniejszych inwestycji	zmiana warunków ruchu	oddziaływanie na otoczenie społeczne	straty w środowisku naturalnym	zmiana bezpieczeństwa kierujących pojazdami	zmiana bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu
techniczne	0,084	0,041	0,057	0,056	0,052	0,067	0,064
transportowe	0,166	0,098	0,399	0,159	0,146	0,150	0,172
bezpieczeństwo	0,324	0,301	0,213	0,346	0,236	0,340	0,347
środowisko	0,298	0,298	0,190	0,300	0,443	0,291	0,267
komplementarność	0,038	0,163	0,045	0,044	0,038	0,040	0,050
dostępność terenu	0,090	0,099	0,096	0,094	0,085	0,112	0,100
Macierz sprzężeń zwrotnych w relacji alternatywy - kryteria							
	techniczne	transportowe	bezpieczeństwo	środowisko	komplementarność	dostępność terenu	
ingerencja w istniejącą infrastrukturę	0,226	0,075	0,528	0,594	0,091	0,157	
liczba wcześniejszych inwestycji	0,101	0,229	0,140	0,249	0,691	0,249	
zmiana warunków ruchu	0,674	0,696	0,333	0,157	0,218	0,594	
oddziaływanie na otoczenie społeczne	0,600	0,667	0,750	0,333	0,667	0,667	
straty w środowisku naturalnym	0,400	0,333	0,250	0,667	0,333	0,333	
zmiana bezpieczeństwa kierujących pojazdami	0,500	0,500	0,400	0,500	0,500	0,500	
zmiana bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu	0,500	0,500	0,600	0,500	0,500	0,500	

W wyniku syntezy omawianego modelu decyzyjnego uzyskano następującą hierarchię alternatyw - kryteriów które zostaną następnie przeniesione do modelu hierarchicznego AHP:

- bezpieczeństwo - 0,3068
- środowisko - 0,2975
- transportowe - 0,1855
- dostępność terenu - 0,0969
- techniczne - 0,0612
- komplementarność - 0,0519

Uzyskane wyniki wskazują na główną rolę bezpieczeństwa ruchu drogowego i wpływu na środowisko przy podejmowaniu decyzji o wyborze wariantu dla danej inwestycji – są to elementy, które przez cały okres użytkowania będą najważniejsze z punktu widzenia uczestników ruchu drogowego oraz otoczenia przyrodniczego i społecznego.



#### 4 WYNIKOWY MODEL AHP DLA OCENY WARIANTÓW WYBRANEJ INWESTYCJI DROGOWEJ

W prezentowanym modelu rozważano 4 warianty przebiegu obwodnicy miasta Malborka [15]. Wspólny dla wszystkich wariantów na tym etapie był jej północny przebieg względem miasta. Różniły się one między sobą przede wszystkim charakterem trasy głównej:

- Wariant 1 - układ docelowy GP2x2, zaprojektowane 3 węzły,
- Wariant 2 – układ etapowy jedno-jezdniowy GP1x2, budowa południowej jezdni układu docelowego wraz z węzłem z drogą krajową 55 i skrzyżowaniami,
- Wariant 3 - układ "mieszany" w rejonach węzłów lub skrzyżowań, układ dwujezdniowy na innych odcinkach poza obiektami, jeśli to jest możliwe układ 2+1 (wariant zapisany w uzgodnieniu KOPI),
- Wariant 4 – „układ 2+1” na całej trasie z wyłączeniem jedynie odcinków obwodnicy na obiektach i wysokich nasypach.

Wariant 1 - układ docelowy 2x2. Wariant 1 – docelowy, zakłada budowę obwodnicy Malborka w układzie dwujezdniowym wraz z wykonaniem 3 planowanych węzłów typu WB. W układzie docelowym proponowane jest wykonanie węzłów drogowych. W przypadku węzła Malbork Północ z uwagi na klasę krzyżujących się dróg oraz przewidywane znaczne natężenia ruchu występuje konieczność wybudowania węzła. W świetle zaktualizowanych prognoz ruchu brak możliwości uzyskania dla planowanej inwestycji odpowiednich wartości wskaźników opłacalności, przed rokiem 2040, dla przekroju dwujezdniowego.

Wariant 2 – etapowy jedno-jezdniowy. Wykonanie obwodnicy według wariantu 2 umożliwi budowę jednej jezdni i pozwoli na przeniesienie ruchu tranzytowego z centrum historycznego miasta. Jednocześnie realizacja inwestycji w takim kształcie umożliwi późniejszą rozbudowę do układu docelowego (dwujezdniowego) bez dodatkowych kosztów. W tym wariantcie zaproponowano na obu końcach obwodnicy skrzyżowanie typu rondo (pożądane fizyczne spowolnienie ruchu i brak konieczności budowy sygnalizacji świetlnej) w śladzie projektowanej docelowej łącznicy węzła. To spowoduje, że roboty ziemne i wymagane wzmocnienie gruntu na dojeździe do obwodnicy od strony miasta zostaną wykonane docelowo (wg wariantu I).

Wariant 3 - w rejonach węzłów lub skrzyżowań układ dwujezdniowy na innych odcinkach układ 2+1. Wariant ten jest kosztowny do realizacji w świetle przeprowadzonych prognoz ruchu. Dodatkowo jedynie na odcinkach międzywęzłowych i obiektach inżynierskich będzie on odbiegał od układu docelowego. Spowodowane to jest między innymi tym, że charakter obwodnicy (2 z 3 węzłów występują na długich łukach w planie) powoduje, iż układ dwujezdniowy w rejonie węzłów ze względów geometrycznych jest znacznie wydłużony.

Układ jezdni 2+1 również niewiele odbiega szerokością nawierzchni od układu dwujezdniowego będąc dużo bardziej niebezpieczny (brak fizycznego rozdzielania potoków ruchu). Powyższe uwarunkowania powodują, iż nie będzie znacznych różnic w kosztach inwestycji. Jednocześnie późniejsza rozbudowa do układu docelowego będzie utrudniona i wymagać będzie rozebrania części nawierzchni na odcinkach, gdzie występował układ jezdni 2+1.

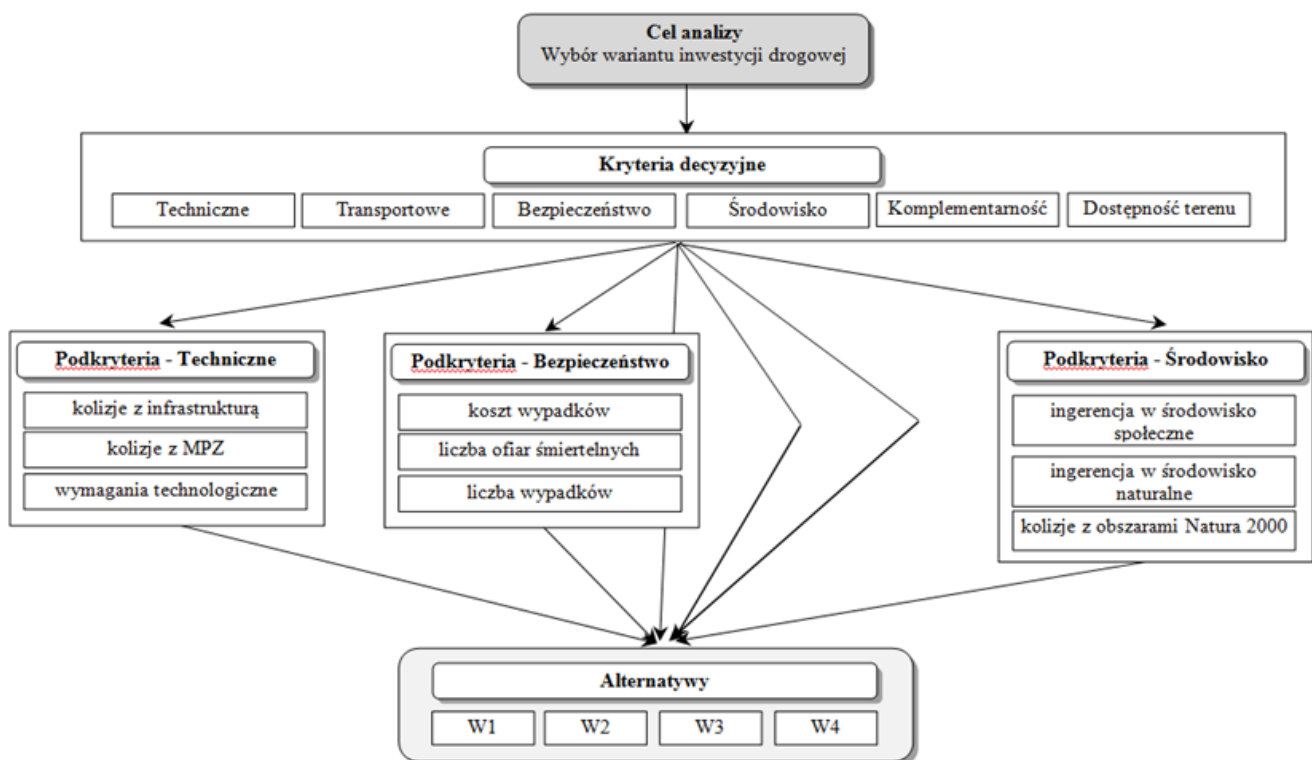
Wariant 4 - układ 2+1 na całej trasie z wyłączeniem jedynie odcinków obwodnicy na obiektach. W projektowanym układzie przy dość dużym procencie występowania dodatkowego pasa do wyprzedzania można przyjąć, iż taki układ, nie licząc skrzyżowań przeniesie do 70% ruchu możliwego do przeniesienia przez układ dwujezdniowy. Jest to rozwiązanie zapewniające dobre warunki ruchu przy spodziewanych natężeniach, przez okres eksploatacji obwodnicy do roku 2040 lecz przekreślające możliwości taniego przekształcenia trasy do układu docelowego (znaczna część nawierzchni konieczna będzie do rozbiórki). Dodatkowo należy wziąć pod uwagę aspekty bezpieczeństwa – podobnie jak dla wariantu 3 – brak fizycznego rozdzielania kierunków ruchu.



Wariant 1 zapewni największy poziom bezpieczeństwa – rozdzielanie kierunków ruchu, połączenie z innymi drogami za pomocą węzłów, natomiast wariant 2 ze względu na przekrój jednojezdniowy bez dodatkowych pasów ruchu zapewni najniższy poziom bezpieczeństwa (należy jednak pamiętać, że będzie on i tak na wystarczającym poziomie, ze względu na ograniczoną dostępność do analizowanego odcinka drogi oraz na zastosowanie w ostatecznej wersji koncepcji węzła z DK 55). Wariant 1 zapewni również najlepsze warunki ruchu, jednak należy stwierdzić, że przy prognozowanych natężeniach ruchu do roku 2040 wszystkie 4 warianty będą miały zbliżony poziom warunków ruchu z lekkim wskazaniem na wariant 1.

Wariant 2 wymaga bardzo niewielkich nakładów dodatkowych do przebudowy do przekroju 2x2, natomiast warianty 3 i 4 wymagają znacznych nakładów związanych z rozbiórkami i przebudową do takiego przekroju – wariant docelowy 2x2.

Strukturę wielokryterialnego modelu decyzyjnego przedstawiono na rysunku 2, natomiast wyniki porównań parami w tabeli 2.



Rys.2 Struktura modelu decyzyjnego AHP

W wyniku przeprowadzonej analizy uzyskano następującą hierarchię wariantów inwestycji:

- W1 - 0,2863
- W2 - 0,2179
- W3 - 0,2597
- W4 - 0,2360

Uzyskane wyniki wskazują na wariant 1 jako optymalny z punktu widzenia przyjętych kryteriów. Zwraca jednak uwagę, że wariant 1, z przekrojem dwujezdniowym na całej długości nie ma uzasadnienia do roku 2040 z punktu widzenia obciążenia ruchem drogowym. W związku z tym należy traktować go jako rozwiązanie docelowe, a w pierwszym etapie należałoby wdrożyć wariant 2 – jako rozwiązanie najbardziej dopasowane do etapowania rozwiązania docelowego. Dodatkowym końcowym kryterium oceny poszczególnych wariantów musi być ocena ekonomiczno – finansowa, zawierająca analizę kosztów inwestycji dla poszczególnych wariantów oraz ocenę wskaźników ekonomicznych [16], [17].



Tab. 2. Ważone macierze porównań w modelu AHP

kryteria główne alternatywy	techniczne		transportowe	bezpieczeństwo	środowisko	komplementar- ność	dostępność terenu		
W1	0,000		0,328	0,000	0,000	0,250	0,250		
W2	0,000		0,328	0,000	0,000	0,250	0,250		
W3	0,000		0,328	0,000	0,000	0,250	0,250		
W4	0,000		0,224	0,000	0,000	0,250	0,250		
podkryteria alternatywy	koszt wypadków	liczba ofiar śmiertelnych	liczba wypadków	kolizje z infrastrukturą	kolizje z MPZ	wymagania technologiczne	ingerencja w środowisko "społeczne"	ingerencja w środowisko naturalne	kolizja z obszarami Natura 2000
W1	0,343	0,343	0,306	0,250	0,250	0,063	0,250	0,250	0,250
W2	0,343	0,172	0,235	0,250	0,250	0,074	0,250	0,250	0,250
W3	0,343	0,293	0,255	0,250	0,250	0,288	0,250	0,250	0,250
W4	0,192	0,192	0,204	0,250	0,250	0,576	0,250	0,250	0,250

## WNIOSKI

Analiza wielokryterialna powinna stać się standardową procedurą przy wyborze wariantów inwestycji. Zaproponowana metoda ma zastosowanie do wyboru potencjalnych wariantów dla inwestycji drogowych. W powyższym referacie przedstawiono zastosowanie dla analiz ogólnych, w kolejnych krokach należy dopasować alternatywy i kryteria dla rodzajów inwestycji związanych z położeniem, klasą drogi oraz zasięgiem. Metoda pozwala na wybór optymalnego wariantu nie tylko na podstawie klasycznej oceny „ekspertkiej”, ale pozwala na optymalizację i obiektywizację wyboru.

### Streszczenie

Celem artykułu było opracowanie wielokryterialnego modelu decyzyjnego wykorzystującego metodę AHP/ANP na potrzeby usprawnienia procedury wyboru wariantów inwestycji drogowej. Poszukiwanie nowego rozwiązania w tym zakresie było związane z ograniczeniami analizy kosztów korzyści w zakresie wyceny skutków inwestycji. W związku z tym zaproponowano dwuetapowe podejście obejmujące w pierwszym etapie dobór wag kryteriów decyzyjnych za pomocą odrębnego modelu ANP (analitycznego procesu sieciowego), a następnie przeniesienie ich do wynikowego modelu AHP, gdzie dokonano hierarchizacji czterech wariantów realizacji obwodnicy Malborka. W modelu ANP dla inwestycji liniowych przyjęto następujące kryteria decyzyjne: techniczne, transportowe, bezpieczeństwo, środowisko, komplementarność i dostępność terenu. Pozwoliły one na uwzględnienie kluczowych cech ocenianych wariantów. Uzyskane wyniki poddano dalszej ocenie zgodnie z zasadą, że analiza wielokryterialna wspomaga proces decyzyjny poprzez identyfikację jego uwarunkowań, nie zastępując natomiast decydentów. W związku z tym jako docelowy wskazano nie wariant 1 który uzyskał najwyższy wynik, ale wariant 2 charakteryzujący się największą możliwością etapowania.

## AHP/ANP method as a tool for selection of road investment variants with regards to safety issues

### Abstract

The objective of this paper was to elaborate multicriteria decision model under AHP/ANP principles to





*improve road investments variants selection. The search for new solution on this field was associated with limitations of cost-benefit analysis in term of investment impact evaluation. Therefore, a two step approach was proposed. The first step was to prepare the ANP (analytic network process) model to assess weights of selected decision criteria. Subsequently, the weights were transferred to the AHP hierarchical model to evaluated four criteria of the city of Malbork ring road. Following criteria were used: technology, transport, safety, environment, complementarity and the land availability. Selected criteria allowed for identification of varaint's key characteristics. The obtained results were later a subject to further discussion according to the rule that multicriteria analysis role is to support a decision maker, not to replace him. Thus, the recommended variant was not the one with highest ranking, but the one with highest staging potential.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Mackie P., Preston J., Twenty-one sources of error and bias in transport appraisal. *Transport Policy* 5, 1998.
2. Wee V.B., Large Infrastructure Projects: The Quality of Demand Forecasts and Cost Estimations. A Review of Literature. *Environment and Planning B: Planning and Design* 34(4), 2007.
3. Salling K.B., Banister D., Assessment of large transport infrastructure projects: the CBA-DK model. *Transportation Research Part A* 43, 2009.
4. Ševčíková, H., Raftery, A.E., Waddell, P.A, Uncertain benefits: application of Bayesian melding to the Alaskan way viaduct in Seattle. *Transportation Research Part A* 45, 2011.
5. Assesment and Decisionmaking for Sustainable Transport. ECMT 2004.
6. Tudela A., Akiki N., Cisternas R., Comapring the output of cost benefit and multicriteria analysis. An application to urban transport investments. *Transportation Research Part A* 40 (2006).
7. Żak J., Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
8. Adamus W., Gręda A., Wspomaganie decyzji wielokryterialnych w rozwiązywaniu wybranych problemów organizacyjnych i menedżerskich. *Badania operacyjne i decyzje* 2/2005.
9. Saaty T., 2006, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications.
10. Ivanović I., Grujić D., Macura D., Jović, J., Bojović N., One approach for road transport project selection, *Transport Policy* 25 (2013)
11. Onut S., Tuskaya U. R., Torun E., Selecting container port via a fuzzy ANP-based approach: A case study in the Marmara Region, Turkey, *Transport Policy* 18 (2011)
12. Macura D., Bosković B., Bojović B., Milenković M., A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP. *International Journal of Transport Economics* XXXVIII (3) 2011
13. Tzeng G. H, Lin Ch., Opricovic S., Multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation. *Energy Policy* 33 (2005)
14. Turcksin L., Bernardini A., Macharis C., A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 20/2011
15. Koncepcja Programowa Budowy Obwodnicy Malborka, Analiza Wielokryterialna, Kontrakt sp. z o.o., Gdańsk 2013
16. Niebieska Księga dla Inwestycji Infrastruktury Drogowej, JASPERS 2009
17. Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych, IBDiM, Warszawa 2008