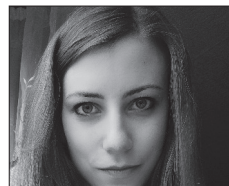


Wybór czasowej organizacji ruchu z zastosowaniem metody analizy hierarchicznej AHP



dr hab. inż.
KAROL PRAŁAT
Politechnika Warszawska
Wydział Budownictwa, Mechaniki
i Petrochemii w Płocku
ORCID: 0000-0001-5116-0379



mgr inż.
WIOLETTA DOBACZEWSKA
Politechnika Warszawska
Wydział Budownictwa, Mechaniki
i Petrochemii w Płocku
ORCID: 0000-0003-0987-2211



dr inż.
WOJCIECH KUBISSA
Politechnika Warszawska
Wydział Budownictwa, Mechaniki
i Petrochemii w Płocku
ORCID: 0000-0001-5626-7917



mgr inż.
TOMASZ DOBACZEWSKI
Kierownik robót drogowych – PORR SA
ORCID: 0000-0001-8085-7749

W niniejszym artykule autorzy zaprezentowali możliwość zastosowania metody analizy hierarchicznej AHP w celu wyboru optymalnego wariantu czasowej organizacji ruchu. Zdefiniowano skończony zbiór wariantów decyzyjnych i kryteriów.

Projektowanie czasowych organizacji ruchu

Projektowanie czasowych organizacji ruchu oraz procedura zatwierdzania ich przez organ zarządzający ruchem są dobrze znane wykonawcom realizującym inwestycje infrastrukturalne. Obowiązkiem wykonawców realizujących inwestycje w pasie drogi publicznej jest nie tylko wystąpienie do zarządcy drogi z wnioskiem o wydanie zezwolenia na zajęcie pasa drogowego, ale również – w przypadku gdy zajęcie pasa drogowego wpływa na ruch drogowy, ogranicza widoczność na drodze lub powoduje wprowadzenie zmian w istniejącej organizacji ruchu pojaz-

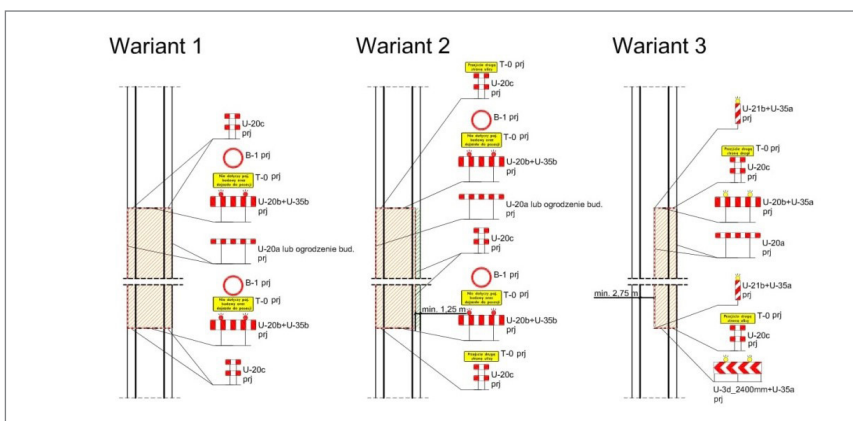
dów lub pieszych – zaprojektowanie i uzyskanie zatwierdzenia projektu czasowej organizacji ruchu przez organ zarządzający ruchem. Wybór sposobu oznakowania miejsca prowadzonych robót budowlanych powinien być poprzedzony analizą pod kątem takich kryteriów jak: bezpieczeństwo chronionych i niechronionych użytkowników dróg, czas realizacji robót budowlanych, koszt wprowadzenia, zmiany i utrzymania znaków drogowych z czasowej organizacji ruchu, sprawność wykonania robót budowlanych, zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności oraz zachowanie płynności w ruchu kołowym i pieszym. Zasady umieszczania znaków drogo-

wych pionowych, poziomych i urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego zostały opisane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [1]. Niemniej jednak wybór optymalnego rozwiązania czasowej organizacji ruchu w przypadku gdy roboty budowlane można wykonać półkolejowo lub przy całkowitym zamknięciu ulicy wymaga podjęcia decyzji. Na potrzeby artykułu autorzy opracowali ankiety skierowane do wybranych wykonawców realizujących roboty drogowe, w których zadaniem ankietowanych było porównanie sześciu kryteriów. Ankiety wysłano do piętnastu wybranych wykonawców, z których dziewięciu udzieliło odpowiedzi. Ankiety posłużyły równocześnie do uzyskania informacji, jakimi najczęściej kryteriami kierują się wykonawcy robót drogowych podczas projektowania czasowych organizacji ruchu.

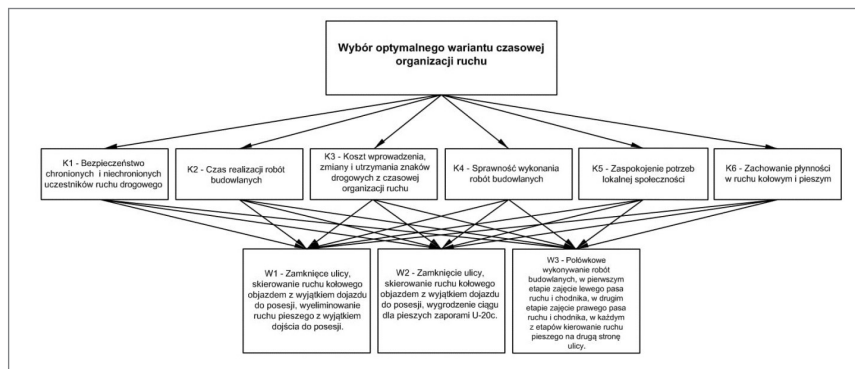
Model problemu decyzyjnego

Metodę analizy hierarchicznej (AHP) zastosowano w celu wyboru najlepszego rozwiązania wykonania robót drogowych w przypadku gdy technologia robót budowlanych umożliwia wykonanie ich półkolejowo lub przy całkowitym zamknięciu ulicy. Jako decyzyjne zaproponowano 3 warianty czasowej organizacji ruchu:

- W1 – zamknięcie ulicy, skierowanie ruchu kołowego objazdem z wyjątkiem dojazdu do posesji, wyeliminowanie ru-



Rys. 1. Możliwości oznakowania wariantów decyzyjnych



Rys. 2. Zaproponowana struktura hierarchiczna oceny wyboru czasowej organizacji ruchu

Tabela 1. Zmodyfikowana skala porównań Saaty'ego

| Wartość | Ocena werbalna |
|---------|---|
| 1 | Porównywane warianty/kryteria równoważą się |
| 3 | Niewielka przewaga wariantu/kryterium pierwszego nad drugim |
| 5 | Duża przewaga wariantu/kryterium pierwszego nad drugim |
| 7 | Istotnie większa przewaga wariantu/kryterium pierwszego nad drugim |
| 9 | Ogromna przewaga wariantu/kryterium pierwszego nad drugim |
| 1/3 | Niewielka przewaga wariantu/kryterium drugiego nad pierwszym |
| 1/5 | Duża przewaga wariantu/kryterium drugiego nad pierwszym |
| 1/7 | Istotnie większa przewaga wariantu/kryterium drugiego nad pierwszym |
| 1/9 | Ogromna przewaga wariantu/kryterium drugiego nad pierwszym |

Tabela 2. Zestawienie wyników otrzymanych od ankietowanych

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | Suma | Średnia |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|
| K1,K2 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 0,333 |
| K1,K3 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 2,6 | 0,289 |
| K1,K4 | 1 | 1/3 | 5 | 1 | 1/3 | 1 | 5 | 5 | 1/3 | 19 | 2,111 |
| K1,K5 | 1/3 | 1/3 | 9 | 1/3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 3 | 29 | 3,222 |
| K1,K6 | 3 | 1 | 9 | 3 | 5 | 5 | 9 | 1 | 3 | 39 | 4,333 |
| K2,K3 | 3 | 1 | 1/5 | 1 | 1 | 1/5 | 3 | 1/5 | 3 | 12,6 | 1,4 |
| K2,K4 | 5 | 1 | 1/5 | 3 | 3 | 1/5 | 1/5 | 5 | 1 | 18,6 | 2,067 |
| K2,K5 | 3 | 1 | 5 | 7 | 1 | 1 | 5 | 1 | 3 | 27 | 3 |
| K2,K6 | 5 | 5 | 5 | 7 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 45 | 5 |
| K3,K4 | 1 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 1 | 9 | 1 |
| K3,K5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 7 | 3 | 1 | 33 | 3,667 |
| K3,K6 | 5 | 3 | 5 | 7 | 3 | 3 | 5 | 3 | 5 | 39 | 4,333 |
| K4,K5 | 1 | 3 | 9 | 5 | 5 | 3 | 3 | 1 | 9 | 39 | 4,333 |
| K4,K6 | 1 | 3 | 5 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 5 | 27 | 3 |
| K5,K6 | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1 | 3 | 1 | 5 | 27 | 3 |

Tabela 3. Macierz porównań kryteriów parami

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | Priorytet |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| K1 | 1,000 | 0,333 | 0,289 | 2,111 | 3,222 | 4,333 | 0,171 |
| K2 | 3,000 | 1,000 | 1,400 | 2,067 | 3,000 | 5,000 | 0,293 |
| K3 | 3,462 | 0,714 | 1,000 | 1,000 | 3,667 | 4,333 | 0,246 |
| K4 | 0,474 | 0,484 | 1,000 | 1,000 | 4,333 | 3,000 | 0,171 |
| K5 | 0,310 | 0,333 | 0,273 | 0,231 | 1,000 | 3,000 | 0,076 |
| K6 | 0,231 | 0,200 | 0,231 | 0,333 | 0,333 | 1,000 | 0,044 |

$\Lambda_{max} = 6,52; \gamma = 0,084 < 0,1$

chu pieszego z wyjątkiem dojścia do posesji;

- W2 – zamknięcie ulicy, skierowanie ruchu kołowego objazdem, wygrozdzenie ciągu dla pieszych zaporami U-20C;
- W3 – połówkowe wykonywanie robót budowlanych, w pierwszym etapie zajęcie lewego pasa ruchu i chodnika, w drugim etapie zajęcie prawego pasa ruchu i chodnika, w obu etapach skierowanie ruchu pieszego na drugą stronę ulicy.

Schemat oznakowania wariantów decyzyjnych przedstawiono na rys. 1.

Macierz porównań kryteriów parami oraz macierz porównań wariantów względem każdego z kryteriów określono na podstawie zmodyfikowanej, na potrzeby przedmiotowej analizy, skali porównań Saaty'ego (tabela 1.) [2, 3].

Oceniając oddziaływania poszczególnych wariantów technicznych, wzięto pod uwagę sześć kryteriów: bezpieczeństwo chronionych i niechronionych uczestników ruchu drogowego (K1), czas realizacji robót budowlanych (K2), koszt wprowadzenia zmiany i utrzymania znaków z czasowej organizacji ruchu (K3), sprawność wykonania robót budowlanych (K4), zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności (K5), zachowanie płynności w ruchu kołowym i pieszym (K6).

Strukturę hierarchiczną oceny wyboru wariantu czasowej organizacji ruchu przedstawiono na rys. 2. Cel decydenta: wybór wariantu czasowej organizacji ruchu umieszczono na najwyższym poziomie hierarchii. Nieco niżej znajdują się niezależne od siebie kryteria oceny wyznaczone na podstawie preferencji decydenta. Warianty decyzyjne umieszczono na najniższym poziomie.

Analityczna część metody AHP

W pierwszym kroku metody AHP na podstawie ankiet otrzymanych od wykonawców realizujących roboty drogowe wyznaczono macierz porównań kryteriów. W tabeli 2. zestawiono wyniki otrzymane od ankietowanych. Tabela 3. przedstawia macierz porównań kryteriów parami.

Z uwagi na różne preferencje wykonawców wyniki oceny kryteriów uśredniono. Decydujące kryteria, jakimi kierują się wykonawcy robót drogowych, to czas (priorytet – 29,3%) oraz koszt realizacji robót budowlanych (priorytet – 24,6%). Kryteria, których priorytet jest najniższy, to zaspokojenie potrzeb lokalnej społeczności (7,6%) oraz zachowanie płynności w ruchu kołowym i pieszym (4,4%). Zgodnie z algorytmem metody AHP dla każdej macierzy porównań obliczono zdefiniowaną miarę zgodności macierzy γ . Według teorii zgodności Saaty'ego jeśli $\gamma \leq 0,1$, wówczas występuje zgodność ocen, natomiast jeśli $\gamma > 0,1$, to należy wykonać ponownie porównanie parami [2, 3, 4, 5]. Wyniki miary zgodności zamieszczono w tabelach 3. i 4.

Tabela 4. Macierze porównań wariantów decyzyjnych względem kryteriów

| | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|
| K1 | W1 | W2 | W3 | K4 | W1 | W2 | W3 |
| W1 | 1,000 | 5,000 | 9,000 | W1 | 1,000 | 1,000 | 7,000 |
| W2 | 0,200 | 1,000 | 3,000 | W2 | 1,000 | 1,000 | 7,000 |
| W3 | 0,111 | 0,333 | 1,000 | W3 | 0,143 | 0,143 | 1,000 |
| $\Lambda_{max} = 3,029; \gamma = 0,025 < 0,1$ | | | | $\Lambda_{max} = 3,000; \gamma = 0,000 < 0,1$ | | | |
| K2 | W1 | W2 | W3 | K5 | W1 | W2 | W3 |
| W1 | 1,000 | 3,000 | 9,000 | W1 | 1,000 | 0,333 | 0,111 |
| W2 | 0,333 | 1,000 | 5,000 | W2 | 3,000 | 1,000 | 0,200 |
| W3 | 0,111 | 0,200 | 1,000 | W3 | 9,000 | 5,000 | 1,000 |
| $\Lambda_{max} = 3,029; \gamma = 0,025 < 0,1$ | | | | $\Lambda_{max} = 3,029; \gamma = 0,025 < 0,1$ | | | |
| K3 | W1 | W2 | W3 | K6 | W1 | W2 | W3 |
| W1 | 1,000 | 3,000 | 7,000 | W1 | 1,000 | 0,333 | 0,143 |
| W2 | 0,333 | 1,000 | 5,000 | W2 | 3,000 | 1,000 | 0,333 |
| W3 | 0,143 | 0,200 | 1,000 | W3 | 7,000 | 3,000 | 1,000 |
| $\Lambda_{max} = 3,066; \gamma = 0,056 < 0,1$ | | | | $\Lambda_{max} = 3,007; \gamma = 0,006 < 0,1$ | | | |

Tabela 5. Macierz priorytetów umożliwiającą wybór wariantu czasowej organizacji ruchu oraz końcowy wektor skali

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | Końcowy wektor skali | [%] |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|
| W1 | 0,748 | 0,669 | 0,643 | 0,467 | 0,071 | 0,088 | 0,570 | 57,0 |
| W2 | 0,181 | 0,267 | 0,283 | 0,467 | 0,181 | 0,243 | 0,283 | 28,3 |
| W3 | 0,071 | 0,064 | 0,074 | 0,066 | 0,748 | 0,669 | 0,147 | 14,7 |
| SUMA | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 100 |

W kolejnym kroku określono macierz porównań wariantów decyzyjnych względem wszystkich sześciu kryteriów. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 5. przedstawia macierz priorytetów umożliwiającą wybór wariantu czasowej organizacji ruchu oraz wektor końcowy skali. Zgodnie z otrzymaną hierarchizacją wariantów decyzyjnych najlepszym wariantem czasowej organizacji ruchu uwzględniającym preferencje wykonawców robót drogowych jest wariant W1 (57,0%). Najmniej korzystnym rozwiązaniem jest wariant W3 (14,7%).

Wnioski

W artykule, na przykładzie wyboru optymalnego wariantu czasowej organizacji ruchu, zaprezentowano praktyczne zastosowanie metody analitycznej hierarchizacji AHP. Z przeprowadzonej analizy uwzględniającej preferencje decydenta najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wariant W1, czyli zamknięcie ulicy, skierowanie ruchu kołowego objazdem z wyjątkiem dojazdu do posesji, wyeliminowanie ruchu pieszego z wyjątkiem dojścia do posesji. Na potrzeby artykułu ankietowani, oceniając kryteria, kierowali się własnym doświadczeniem zawodowym oraz sytuacjami, z jakimi spotkali się najczęściej w swojej pracy. Zaproponowaną metodę można wykorzystać do oceny pojedynczego zadania budowlanego, uwzględniając podczas porównywania kryteriów i wariantów decyzyjnych na

przykład warunki lokalne oraz wytyczne właściwego organu zarządzającego ruchem. Z uwagi na subiektywność przedstawionej metody autorzy w kolejnych publikacjach planują dla opisanego w niniejszym artykule problemu decyzyjnego wykonać obliczenia za pomocą dwóch różnych metod analizy wielokryterialnej. Opisany problem decyzyjny zostanie przedstawiony z punktu widzenia organu zarządzającego ruchem, a następnie porównany z preferencjami wykonawców robót infrastrukturalnych.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz.U. poz. 2181, z późn. zm.).
- [2] J. Szwabowski, J. Deszcz, Metody wielokryterialnej analizy porównawczej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
- [3] T. Trzaskalik, Wielokryterialne wspomaganie decyzji, metody i zastosowania, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.
- [4] T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process. New York, McGraw Hill, 1980.
- [5] T.L. Saaty, Decision Making for Leaders. Belmont, California: Life Time Learnin Publications, 1985.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.1399

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Pratlat Karol, Dobaczewska Wioletta, Kubissa Wojciech, Dobaczewski Tomasz, 2020, Wybór czasowej organizacji ruchu z zastosowaniem metody analizy hierarchicznej AHP, „Builder” 06 (275). DOI: 10.5604/01.3001.0014.1399

Streszczenie: W niniejszym artykule autorzy zaprezentowali możliwość zastosowania me-

tody analizy hierarchicznej AHP w celu wyboru optymalnego wariantu czasowej organizacji ruchu. Zdefiniowano skończony zbiór wariantów decyzyjnych i kryteriów. Macierz porównań kryteriów określono na podstawie ankiet uzyskanych od wykonawców robót budowlanych. Macierz porównań wariantów decyzyjnych względem kryteriów zdefiniowano na podstawie wiedzy i doświadczenia autorów.
Słowa kluczowe: metoda analizy hierarchicznej AHP, czasowa organizacja ruchu

Abstract: THE TEMPORARY TRAFFIC ORGANIZATION SELECTION BY USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS. In the article below authors presented the possibility of using the Analytical Hierarchy Process to choose the optimal variant of the temporary traffic organization. The finite set of decision variants and criteria were defined. The criteria matrix comparison was created on the basis of surveys obtained from the contractors of building works. The matrix of decision variants in regard to criteria was determined on the basis the authors' knowledge and experience.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, temporary traffic organization