

KRZEMIŃSKI Michał¹
KSIAŻEK Mariola²

Przykład obliczeniowy oceny rozwiązań technologiczno – konstrukcyjnych w centrach logistycznych

ocena rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych,
kryterium, stopień ważności,
metoda entropii

Streszczenie

Autorzy opracowania przeprowadzili badania ankietowe na grupie czynnych zawodowo respondentów - inżynierów budownictwa. Wyniki ankietyzacji stanowiły punkt wyjścia (dane wejściowe) do zaproponowanej przez autorów wielokryterialnej oceny wybranych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych dla obiektów przemysłowych. W referacie zaprezentowano przykład obliczeniowy sporządzony przy wykorzystaniu metody entropii.

ASSESSMENT OF CONSTRUCTION ENGINEERING SOLUTIONS FOR LOGISTIC CENTRES CALCULATION METHOD EXAMPLE

Abstract

Authors have conducted a survey among professionally active civil engineers. Feedback from questionnaires has been used as an input data for proposed by the authors a multicriteria assessment of construction engineering solutions for infrastructure buildings. This Paper focuses on an example of calculation for the entropy method.

1. WPROWADZENIE

Problem wyboru najlepszego rozwiązania spośród rozpatrywanych wariantów występuje dość często w praktyce inżynierskiej. Różnorodność ofert na rozwijającym się polskim rynku przyczyniła się do zwiększenia wymagań jakościowych stawianych obiektom budowlanym. Proces ten zwiększył konkurencyjność, wymuszając coraz to wyższy poziom świadczonych usług oraz staranność i standard wykonania. Zdaniem autorów – ocena jakościowa nowo wznoszonych obiektów centrów logistycznych może mieć kluczowe znaczenie przy podejmowaniu decyzji o wyborze określonego wariantu.

Zaproponowano analizę wielokryterialną wybranych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych dla obiektów przemysłowych w oparciu o przyjęte kryteria ich oceny, przy zastosowaniu metody entropii.

2. GŁÓWNE ZAŁOŻENIA I ELEMENTY BADAWCZE

Kryteriami jakości są różnego rodzaju cechy i właściwości przydatne do opisanego stanu, w jakim znajduje się badany przedmiot analizy [6]. Kryteria oceny posegregowano w grupy znaczeniowe oraz zaproponowano cechy określające ich stan (tablica 1).

Przyjęto pięciopunktową skalę ocen dla kryteriów, gdzie 1 – oznacza stan nieodpowiedni (niemożliwy do zaakceptowania) i 5 – bardzo dobry (obiekt wzorcowy). Kryterium *Technologia wykonania elementów obiektu* jest destymulantą, pozostałe cztery kryteria to stymulanty. Wprowadzono również – dla zróżnicowania wartości kryteriów – skalę dla wag od 0 do 1, gdzie 0 – oznacza najmniej istotny, 1 – najważniejszy. Wagi kryteriów określono w sposób subiektywny z uwzględnieniem stopnia ważności i znaczenia wybranej cechy w aspekcie samej realizacji i użytkowania obiektu.

Zdaniem autorów – przyjęte stopnie oceny kryteriów i wag są łatwe do wskazania przez oceniającego i w pełni wystarczające do przeprowadzenia badań, ponieważ w sposób komunikatywny opisują stan rozpatrywanych cech obiektu. W tabeli 1 zaprezentowano określone liczbowo wartości stopnia spełnienia poszczególnych kryteriów dla pięciu przykładowych analizowanych wariantów.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, E-mail: m.krzeminski@il.pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, E-mail: mariola.ksiazek@il.pw.edu.pl

Tab. 1 Zestawienie wystawionych przez ekspertów ocen dla analizowanych wariantów

| NAZWA KRYTERIUM | WAGA | TABELA OCEN OBIEKTÓW | | | |
|--|-------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | WARIANT I | WARIANT II | WARIANT III | WARIANT IV |
| KRYTERIA PODSTAWOWE | 0,89 | | | | |
| KRYTERIUM A. TECHNOLOGIA WYKONANIA ELEMENTÓW OBIEKTU | 0,31 | 0,92 | 0,83 | 0,81 | 0,89 |
| – czas wykonania | 0,1 | 0,77 | 0,92 | 1,00 | 0,81 |
| – koszt wykonania | 0,1 | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 0,90 |
| – trwałość | 0,03 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 1,00 |
| – stopień skomplikowania technologicznego przy wykonywaniu prac | 0,07 | 1,00 | 0,80 | 0,60 | 1,00 |
| – ekologiczność zastosowanego rozwiązania | 0,01 | 0,80 | 0,60 | 1,00 | 0,60 |
| KRYTERIUM B. ADAPTOWALNOŚĆ W ASPEKCIE ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH | 0,36 | 0,90 | 0,90 | 0,68 | 0,62 |
| – wysokość użytkowa | 0,12 | 1,00 | 0,80 | 0,80 | 1,00 |
| – przestrzeń między elementami konstrukcyjnymi (ściany, słupy) | 0,18 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,50 |
| – technologia i konstrukcja wykonania ścian osłonowych | 0,06 | 0,40 | 0,80 | 1,00 | 0,20 |
| KRYTERIUM C. FUNKCJONALNOŚĆ I WALORY UŻYTKOWE OBIEKTU | 0,22 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| – stopień spełnienia wymagań jakości | 0,11 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| – stopień spełnienia wymagań bezpieczeństwa | 0,06 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| – możliwość powtórnego zastosowania | 0,05 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| KRYTERIA DODATKOWE | 0,11 | | | | |
| KRYTERIUM D. LOKALIZACJA OBIEKTU PRZEMYSŁOWEGO | 0,07 | 0,83 | 0,86 | 0,93 | 0,94 |
| – bliskość kolejki miejskiej | 0,04 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |
| – bliskość tramwajów i autobusów | 0,01 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| – bliskość drogi szybkiego ruchu | 0,01 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 0,60 |
| – sąsiedztwo zakładu wytwórczego (np. wytwórni kruszywa) | 0,01 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 1,00 |
| KRYTERIUM E. STANDARD WYKOŃCZENIA OBIEKTU | 0,04 | 0,79 | 0,90 | 0,94 | 0,95 |
| – ściany zewnętrzne | 0,01 | 0,75 | 1,00 | 0,75 | 1,00 |
| – ściany wewnętrzne | 0,01 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,80 |
| – pomieszczenia administracyjne | 0,01 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 1,00 |
| – pomieszczenia socjalne | 0,01 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Dane wejściowe do przeprowadzanej analizy dotyczą najważniejszych, z punktu widzenia oceny jakościowej, cech centrum logistycznego. Ocenę rozpatrywanych obiektów przeprowadzili doświadczeni i kompetentni eksperci. Otrzymaną opinię przyjęto za najbardziej miarodajną o wysokim poziomie zaufania.

3. OCENA WYBRANYCH OBIEKTÓW PRZY ZASTOSOWANIU METODY ENTROPII

3.1. Wprowadzenie do metody Entropii

Entropia jest termodynamicznym parametrem stanu układu. Natomiast w interpretacji statystycznej, określa ona stopień nie uporządkowania zbioru (lub stopień jego wyjątkowości).

Rozwiązywanie problemów decyzyjnych w budownictwie dotyczy głównie wyboru różnych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych i organizacyjnych, opisanych przez wskaźniki techniczno-ekonomiczne wyrażone w określonych jednostkach. Zastosowanie analizy wielokryterialnej polega na wprowadzeniu określonych założeń matematycznych oraz wykorzystaniu informacji pochodzących bezpośrednio od decydenta (eksperta, oceniającego) [2], [3]. W ramach procesu decyzyjnego występuje skończony zbiór wariantów, a kryteria określone są w sposób zdeterminowany.

Metoda entropii [2], [7] pozwala na oszacowanie ważności analizowanych kryteriów opisujących rozpatrywane warianty rozwiązań na podstawie rozbieżności wartości każdego z nich. W teorii informacji została ona po raz pierwszy zastosowana przez Claude Shannona i udoskonalona później kolejno przez B. McMillana i L. Breimana. W metodzie entropii do końcowych obliczeń, w wyniku których uzyskuje się szereg preferencyjnych rozwiązań, wykorzystuje się:

- wagi kryteriów uzyskane w ramach procedury obliczeniowej (przy założeniu, że wszystkie kryteria są jednakowo ważne),
- wagi kryteriów uzyskane w ramach procedury obliczeniowej oraz wagi poszczególnych kryteriów podane przez decydenta, bądź grupę ekspertów (przy założeniu, że wszystkie kryteria nie są jednakowo ważne).

Podstawą uzyskania prawidłowych wyników przy zastosowaniu metody entropii jest uwzględnienie warunków wynikających z analizy jej wrażliwości. Wyniki analizy wrażliwości mają wpływ na sposób przekształcania macierzy wejściowej w drugim etapie obliczeń [4]

3.2. Etapy obliczeń w metodzie entropii

Etap I

Określenie wejściowej macierzy rozwiązań (tabela 2), której wyrazy stanowią oceny końcowe poszczególnych kryteriów, wynikające ze stosunku sumy ocen ważonych danej cechy do ich wartości maksymalnej.

Tab. 2 Wejściowa tabela rozwiązań

| | Wariant I | Wariant II | Wariant III | Wariant IV |
|-------------|-----------|------------|-------------|------------|
| Kryterium A | 0,92 | 0,83 | 0,81 | 0,89 |
| Kryterium B | 0,90 | 0,90 | 0,68 | 0,62 |
| Kryterium C | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Kryterium D | 0,83 | 0,86 | 0,93 | 0,94 |
| Kryterium E | 0,79 | 0,90 | 0,94 | 0,95 |

Etap II

Przekształcenie wejściowej macierzy rozwiązań A w macierz rozwiązań D, w celu uzyskania takiej samej podstawy do oceny poszczególnych kryteriów. Przekształcenie dokonuje się przy założeniu, że wszystkie kryteria są symulantami [1] (kryteriami typu „zysk”). Kryteria typu „zysk”, które przyjmują wartości z przedziału (0, 1 > przekształca się zgodnie ze wzorem:

$$d_{ij} = a_{ij} \quad (1)$$

gdzie: $i = \overline{1, m}$ oraz $j = \overline{1, n}$

$$[D] = \begin{bmatrix} 1,09 & 1,20 & 1,23 & 1,12 \\ 0,90 & 0,90 & 0,68 & 0,62 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 0,83 & 0,86 & 0,93 & 0,94 \\ 0,79 & 0,90 & 0,94 & 0,95 \end{bmatrix}$$

Etap III

Normalizacja macierzy rozwiązań D do macierzy P. Przekształcenia wyrazów macierzy rozwiązań D dokonuje się według wzoru:

$$p_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}} \quad (2)$$

gdzie n – liczba wariantów

Macierz P przedstawia się następująco:

$$[P] = \begin{bmatrix} 0,23 & 0,26 & 0,27 & 0,24 \\ 0,29 & 0,29 & 0,22 & 0,20 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \\ 0,23 & 0,24 & 0,26 & 0,26 \\ 0,22 & 0,25 & 0,26 & 0,27 \end{bmatrix}$$

Etap IV

Określenie dla każdego kryterium entropii E_j oraz poziomu zmienności entropii d_j .

Entropię E_j dla każdego kryterium oblicza się według wzoru (tabela 3):

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad (3)$$

gdzie: $i = \overline{1, m}$ oraz $k = \frac{1}{\ln n} = \frac{1}{\ln 5} = 0,621$

Tab.3 Wartości entropii E_j dla rozpatrywanych kryteriów oceny

| E_1 | E_2 | E_3 | E_4 | E_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,86 | 0,85 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |

Z uwagi na fakt, iż entropia dla każdego kryterium (wskaźnika) zmienia się w przedziale (0,1> to otrzymujemy:

$$0 \leq E_j \leq 1, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

Określenie poziomu zmienności entropii d_j dla każdego kryterium (wskaźnika) zdefiniowano w sposób następujący (tabela 4):

$$d_j = 1 - E_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (5)$$

Tab.4 Poziom zmienności entropii d_j dla rozpatrywanych kryteriów oceny

| d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |

Etap V

Określenie wag (znaczenia) poszczególnych kryteriów. Jeżeli:

– wszystkie kryteria są jednakowo ważne, to wagi oblicza się według wzoru:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}, \quad j = \overline{1, m} \quad (6)$$

– wszystkie kryteria nie są jednakowo ważne, jest to nasz przypadek, to wagi oblicza się w następujący sposób:

$$w_j^0 = \frac{\overline{w_j} \cdot \overline{w_j}}{\sum_{j=1}^m \overline{w_j} \cdot \overline{w_j}} \quad (7)$$

gdzie $\overline{w_j}$ - wagi określone subiektywnie, przez grupę ekspertów

Wagi poszczególnych kryteriów określone zostały w tabeli 5.

Tab. 5 Wagi poszczególnych kryteriów

| | Kryterium 1 | Kryterium 2 | Kryterium 3 | Kryterium 4 | Kryterium 5 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| w_j | 0,20 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,19 |
| $\overline{w_j}$ | 0,31 | 0,36 | 0,22 | 0,07 | 0,04 |
| w_j^0 | 0,30 | 0,37 | 0,22 | 0,07 | 0,04 |

Etap VI

Obliczenie składowych wektora rozwiązań $C = [c_j]$. Składowe wektora policzone zostały przy użyciu wzoru (8) a wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 6.

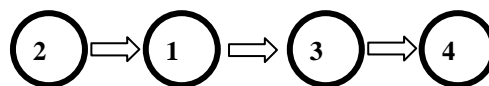
$$c_j = \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot w_j^0, \quad i = \overline{1, n}, \quad c_j \in (0, 1) \quad (8)$$

gdzie: n – liczba wariantów

Tab.6 Składowe wektora rozwiązań C

| c_1 | c_2 | c_3 | c_4 |
|-------|-------|-------|-------|
| 0,26 | 0,27 | 0,24 | 0,23 |

Na podstawie wartości c_j powstaje szereg preferencyjny, stanowiący rezultat końcowy przeprowadzonych obliczeń (każda wartość c_j jest oceną j-tego rozwiązania). Zatem im większa wartość c_j , tym dany wariant jest lepszy. Poniżej przedstawiono diagram Haasego obrazujący szereg wariantów preferencyjnych



Rys. 2. Szereg preferencyjnych wariantów w postaci diagramu Hassego

4. PODSUMOWANIE

Autorzy do analizy obiektów budowlanych zastosowali również inne metody szeregowania i oceny (Electre I, Punktu idealnego). Ocena jakości obiektu centrum logistycznego w dużej mierze będzie musiała opierać się na kryteriach trudno mierzalnych, co narzuca konieczność przeanalizowania i ewentualnego zweryfikowania wiarygodności przeprowadzonych obliczeń.

Z przeprowadzonej oceny wybranych przez autorów obiektów centrów logistycznych wynika, że:

- w świetle przyjętych kryteriów oceny obiekt drugi jest najlepszy i najbardziej optymalny;
- zaproponowana metoda oceny jakościowej może być pomocna w procesie podejmowania decyzji, ponieważ umożliwia uporządkowanie zbioru kryteriów oraz wyłonienie optymalnego (preferowanego) wariantu;
- interesującym elementem badawczym może być wpływ przyjętej metody oceny na ogólny wynik obliczeń oraz określenie, który z elementów oceny najbardziej wpływa na ostateczny jej wynik.

5. LITERATURA

[1] Biruk S., Jaworski M. K., Tokarski Z.: *Podstawy organizacji robót drogowych*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2007
 [2] Ignasiak E.: *Badania operacyjne*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997.

- [3] Jaworski K. M.: *Metodologia projektowania realizacji budowy*. PWN, Warszawa 1999.
- [4] Kapliński O., Thiel T.: *Analiza wrażliwości rozwiązań wielokryterialnych na przykładzie metody entropii, materiały konferencyjne konferencji naukowej „Zagadnienia naukowo-badawcze inżynierii procesów budowlanych”*, tom 5, 6-8 czerwca 1990, Wrocław-Szklarska Poręba, 139-143.
- [5] Kapliński O.: *Informatyka stosowana w inżynierii produkcji budowlanej*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.
- [6] Kolman R.: *Ilościowe określanie jakości*. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1973.
- [7] Shannon C. E., Weaver W.: *The mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press, Urbana, 1947, T 11.