

WIELOKRYTERIALNA OCENA WARIANTÓW ROZWIĄZAŃ TECHNOLOGICZNO-KONSTRUKCYJNYCH W CENTRACH LOGISTYCZNYCH PRZY WYKORZYSTANIU METODY ENTROPII

Michał KRZEMIŃSKI, Mariola KSIAŻEK

Instytut Inżynierii Budowlanej, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

1. Wstęp

Problem wyboru najlepszego wariantu spośród rozpatrywanych rozwiązań często występuje w praktyce inżynierskiej. Różnorodność ofert na polskim rynku budowlanym przyczynia się do stawiania coraz to większych wymagań jakościowych, technologicznych i kosztowych odnoszących się do realizacji różnego typu obiektów budowlanych, zarówno ze strony wykonawców, jak i ich potencjalnych odbiorców czy użytkowników.

Oddziaływanie procesu budowlanego na otoczenie – w ujęciu ogólnym – rozpoczyna się już w chwili pobrania zasobów, niezbędnych do produkcji wyrobów i elementów budowlanych, a kończy się w momencie rozbiórki obiektu oraz utylizacji tego, co po nim pozostało. Rozwiązywanie problemów decyzyjnych w budownictwie obejmuje wybór różnych wariantów np.: rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych i organizacyjnych, opisanych przez wskaźniki techniczno-ekonomiczne i wyrażonych w określonych jednostkach [12].

Ocena rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w budownictwie przemysłowym ze względu na ich złożoność nie jest łatwa, co wynika przede wszystkim z ich charakteru i specyfiki. Trudność tego zagadnienia polega m.in. na właściwym określeniu cech budowlanego obiektu przemysłowego ocenianych ilościowo lub jakościowo. Zdaniem autorów, z uwagi na fakt, iż do oceny różnego typu budowlanych obiektów przemysłowych z reguły przyjmuje się innego typu kryteria oceny, to ocena rozpatrywanej inwestycji budowlanej (np. centrum logistycznego) powinna być wieloaspektowa, uwzględniająca jej indywidualny charakter i przeznaczenie. Zaproponowano analizę wielokryterialną wybranych obiektów przemysłowych przy zastosowaniu metody entropii.

2. Ogólne uwagi dotyczące metod i technik pozyskiwania danych badawczych

W socjologii istnieje wiele technik badań (określanych jako sposób zbierania danych) oraz metod badań, stanowiących niezawodną i powtarzalną procedurę rozwiązania ogólnego problemu badawczego, spośród których badający może wybrać sposób najbardziej przydatny

do oceny rozpatrywanego problemu [11]. Zasadę tę wykorzystano do badania obiektów budowlanych (wiaduktów) G. Łagoda [14]. Syntetyczny podział technik pozyskiwania danych badawczych zaproponowany przez jednego z czołowych polskich metodologów empirycznych badań socjologicznych J. Lutyńskiego [2], [6], [12], [13] zaprezentowano poniżej w tabeli 1.

Tabela 1. Podział technik otrzymywania materiałów badawczych [2], [3], [11], [12], [13], [14].

	Techniki obserwacyjne	Techniki oparte na wzajemnym komunikowaniu się	
		bezpośrednim	pośrednim
Techniki nie standaryzowane	Techniki obserwacji nie kontrolowanej	Techniki wywiadu swobodnego (wolnego)	Techniki otrzymywania wypowiedzi pisemnych nie standaryzowanych
Techniki standaryzowane	Techniki obserwacji kontrolowanej	Techniki wywiadu standaryzowanego (kwestionariuszowego)	Techniki ankiety

Natomiast do grupy najbardziej istotnych z punktu widzenia socjologii metod badań zalicza się odpowiednio:

- metodę badań terenowych (tzw. monograficzną) – „polegającą na traktowaniu układu społecznego jako pewnej całości i dążącej do zanalizowania układu relacji między częściami tej całości, zasad jej funkcjonowania i dynamiki” [2], [3], [11], [12], [13], [14].
- metodę reprezentacyjną (tzw. sondażową lub ankietową) – umożliwiającą pozyskanie wiedzy o danej zbiorowości poprzez przebadanie jej reprezentacji [2], [3], [11], [12], [13], [14].
- metodę eksperymentalną – polegającą na przeprowadzeniu określonych działań, pozwalających badającemu na sformułowanie zależności (praw) przyczynowych pomiędzy dwoma zjawiskami [2], [3], [11], [12], [13], [14].
- metodę opartą na materiałach historycznych – czyli badania pełniące rolę zasadniczą lub pomocniczą (wykorzystują tzw. źródła zastane) [2], [3], [11], [12], [13], [14].
- metodę socjometryczną – polegającą na opisanu społecznych (oddziaływań) układów pomiędzy członkami określonej zbiorowości [2], [3], [11], [12], [13], [14].

Zagadnieniem ważnym jest spełnienie warunku reprezentatywności próby. Wielkość tzw. populacji próbnej dobiera się zależnie od wymaganej (w danej sytuacji) dokładności wniosków lub w zależności od opłacalnej i możliwej do osiągnięcia dokładności wyników w odniesieniu do danego problemu.

W socjologii powszechnie akceptowany jest pogląd, iż „jeżeli spełnione są warunki dla szczególnego statystycznego przypadku, rezultaty z prób zawierających od około 200 do około 2000 elementów mogą spokojnie konkurować z pomiarami, które w życiu codziennym uważane są za rzetelne i wiążące. Ponadto podstawę badań ankietowych stanowi socjologiczno-statystyczna zasada reprezentatywności, która polega na zestawieniu równomiernie zmniejszonego modelu badanej populacji, odpowiadającego swoim składem całej grupie respondentów” [12], [14].

W związku z powyższym, uwzględniając możliwości finansowe autorów przeprowadzono badania ankietowe, których wyniki zaprezentowano w dalszej części opracowania.

3. Podstawowe założenia badawcze

Zasadniczym miernikiem oceny wariantów technologiczno-konstrukcyjnych w budownictwie przemysłowym jest stopień spełnienia kryteriów określonych przez decydenta (w niniejszym opracowaniu oznaczającego inwestora, względnie nabywcę obiektu przemysłowego, decydującego o jego lokalizacji, ostatecznej postaci i przeznaczeniu) [1]. Kwestia doboru kryteriów jest niezwykle ważna podobnie, jak i właściwa ocena poziomu ich spełnienia. Kryteria oceny walorów każdego rozpatrywanego rozwiązania powinny być sformułowane i zdefiniowane w sposób jasny i czytelny dla decydenta. Według R. Kolmana [4] kryteriami jakości są różnego rodzaju cechy i właściwości przydatne do opisanego stanu, w jakim znajduje się badany przedmiot analizy. Kryteria jakości obiektu z reguły wynikają z jego przeznaczenia, wymagań techniczno-użytkowych [7], względów finansowych i estetyki. Natomiast w opinii J. Szwabowskiego [17] w każdym procesie oceny wielokryterialnej określa się charakter przyjętych kryteriów. Dana cecha analizowanego rozwiązania decyzyjnego może być stymulantą (zaletą, walorem) lub też - destymulantą (wadą, mankamentem). Wyższa wartość stymulanta powoduje korzystniejszą ocenę globalną wariantu. Natomiast wyższa wartość destymulanta pogarsza globalną ocenę danego rozwiązania. Oczywiście takie oznaczanie charakteru kryteriów odnosi się dla określonej sytuacji decyzyjnej i konkretnego decydenta [11], [12].

W fazie planowania i przygotowania inwestycji często zdarza się, iż wartości ocen niektórych kryteriów mają charakter przybliżony, trudno mierzalny i subiektywny, ponieważ oceniający (np.: w obawie przed popełnieniem błędu) preferują wyrażanie swoich opinii wyłącznie na poziomie jakościowym. Na zachowania decydentów niejednokrotnie wpływają opinie i oceny ekspertów (przede wszystkim inżynierów budowlanych). Od ekspertów bowiem oczekuje się ocen zgodnych z wiedzą budowlaną, rzetelnych, obiektywnych i uwzględniających specyfikę danej sytuacji decyzyjnej. Opinie decydentów, formułowane na podstawie ich poziomu wiedzy i doświadczenia, są dodatkowo uzależnione od dostępności informacji o analizowanym problemie decyzyjnym, stanu emocjonalnego danego eksperta, jego poczucia własnej wartości, nastroju, otoczenia środowiskowego i sposobu postrzegania zjawiska. Punkt widzenia eksperta jest w dużej mierze uzależniony również od subiektywnych preferencji decydenta, na którego rzecz sporządzana jest dana opinia lub ocena. Inne więc zapatrywania w odniesieniu do walorów technologiczno-konstrukcyjnych obiektu przemysłowego będzie przyjmował inwestor, a odrębne - nabywca, czy projektant [11], [12]. W opinii autorów, aparat teoretyczny obejmujący między innymi analizę decyzyjną i różnorodne metody oceny wielokryterialnej, przyczynia się do usprawnienia procesu decyzyjnego i pozwala uniknąć błędów zniekształcających jakość i rzetelność podejmowanej decyzji.

Autorzy przeprowadzili badania ankietowe, w wyniku których wyselekcjonowano podstawową grupę kryteriów oceny rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych dla obiektów przemysłowych oraz określono ich stopień ważności. Dla oceny kryteriów przyjęto skalę pięciopunktową, gdzie 1 – oznacza stan nieodpowiedni (niemożliwy do zaakceptowania) i 5 – bardzo dobry (rozwiązanie wzorcowe). Natomiast wagi poszczególnych kryteriów określono w sposób subiektywny (w skali od 0 do 1, gdzie 0 – oznacza najmniej istotny, 1 – najważniejszy), z uwzględnieniem stopnia ważności i znaczenia wybranej cechy w aspekcie samej realizacji i użytkowania obiektu. Szczegółowy opis kryteriów oraz rezultaty badań ankietowych zaprezentowano w pracach [7], [9], [10], [12]. Model analizy wielokryterialnej przy wykorzystaniu metody entropii [6], [8], [11], [12], [16] przedstawiono

na przykładzie oceny pięciu wybranych centrów logistycznych, zlokalizowanych na terenie dużych miast w Polsce. W tabeli 2 zaprezentowano wartości ocen rozpatrywanych wariantów decyzyjnych w odniesieniu do przyjętych kryteriów ich oceny.

Tabela 2. Podział technik otrzymywania materiałów badawczych [10], [12].

NAZWA KRYTERIUM	WAGA	OCENA POSZCZEGÓLNYCH ROZWIĄZAŃ				
Kryteria podstawowe	0,89	Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV	Wariant V
A. Technologia wykonania elementów obiektu	0,31	0,92	0,83	0,81	0,89	0,80
– czas wykonania	0,1	0,77	0,92	1,00	0,81	0,95
– koszt wykonania	0,1	1,00	0,80	0,70	0,90	0,70
– trwałość	0,03	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00
– stopień skomplikowania technologicznego przy wykonywaniu prac	0,07	1,00	0,80	0,60	1,00	0,60
– ekologiczność zastosowanego rozwiązania	0,01	0,80	0,60	1,00	0,60	1,00
B. Adaptowalność w aspekcie rozwiązań konstrukcyjnych	0,36	0,80	0,87	0,68	0,62	0,85
– wysokość użytkowa	0,12	1,00	0,80	0,80	1,00	0,80
– przestrzeń między elementami konstrukcyjnymi	0,18	1,00	1,00	0,50	0,50	0,90
– technologia i konstrukcja wykonania ścian osłonowych	0,06	0,40	0,80	1,00	0,20	0,80
C. Funkcjonalność i walory użytkowe obiektu	0,22	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
– stopień spełnienia wymagań jakości	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80
– stopień spełnienia wymagań bezpieczeństwa	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
– możliwość powtórnego zastosowania	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80

Tabela 2. Podział technik otrzymywania materiałów badawczych [10], [12] – c.d.

NAZWA KRYTERIUM	WAGA	OCENA POSZCZEGÓLNYCH ROZWIĄZAŃ				
		Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV	Wariant V
Kryteria dodatkowe	0,11					
D. Lokalizacja obiektu	0,07	0,83	0,86	0,93	0,94	0,79
– bliskość kolejki miejskiej	0,04	0,80	0,80	1,00	1,00	0,75
– bliskość tramwajów i autobusów	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80
– bliskość drogi szybkiego ruchu	0,01	0,60	0,80	1,00	0,60	0,80
– sąsiedztwo zakładu wytwórczego (np. wytwórni kruszywa)	0,01	1,00	1,00	0,50	1,00	0,80
E. Standard wykończenia obiektu	0,04	0,79	0,90	0,94	0,95	0,83
– ściany zewnętrzne	0,01	0,75	1,00	0,75	1,00	0,80
– ściany wewnętrzne	0,01	0,80	0,80	1,00	0,80	1,00
– pomieszczenia administracyjne	0,01	0,80	0,80	1,00	1,00	0,60
– pomieszczenia socjalne	0,01	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00

Dane wejściowe do przeprowadzanej analizy odnoszą się do najważniejszych, z punktu widzenia oceny jakościowej, cech centrum logistycznego w warunkach polskiej rzeczywistości rynkowej. Ocenę rozpatrywanych obiektów wykonali doświadczeni i kompetentni decydenci. Otrzymałą opinię przyjęto za najbardziej miarodajną o wysokim poziomie zaufania.

4. Ocena wybranych centrów logistycznych przy wykorzystaniu metody entropii

4.1. Wprowadzenie do metody entropii

Entropia jest termodynamicznym parametrem stanu układu. Natomiast w interpretacji statystycznej, określa ona stopień nie uporządkowania zbioru (bądź stopień jego wyjątkowości). Zastosowanie analizy wielokryterialnej polega na wprowadzeniu określonych założeń matematycznych oraz wykorzystaniu informacji pochodzących bezpośrednio od decydenta (eksperta, oceniającego) [4], [5], [8], [11], [16]. W ramach procesu decyzyjnego występuje skończony zbiór wariantów, a kryteria określone są w sposób zdeterminowany.

Metoda entropii [4], [8], [11], [15] 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 przy założeniu, że wszystkie cechy 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).

Podstawę uzyskania prawidłowych wyników przy zastosowaniu metody entropii stanowi uwzględnienie warunków wynikających z oceny jej wrażliwości. Wyniki analizy wrażliwości entropii mają wpływ na sposób przekształcania wejściowej macierzy rozwiązań w drugim etapie obliczeń [6], [8], [11].

4.2. Etapy obliczeń w metodzie entropii

ETAP I - określenie wejściowej macierzy rozwiązań (tabela 3), której wyrazy stanowią oceny końcowe poszczególnych kryteriów, wynikające ze stosunku sumy ocen ważonych danej cechy do ich wartości maksymalnej [6].

Tabela 3. Wejściowa macierz rozwiązań [10], [12].

KRYTERIUM \ WARIANT	Kryterium I	Kryterium II	Kryterium III	Kryterium IV	Kryterium V
	OCENA STOPNIA SPEŁNIENIA KRYTERIÓW				
Wariant I	0,90	0,80	1,00	0,83	0,79
Wariant II	0,83	0,87	1,00	0,86	0,90
Wariant II	0,81	0,68	1,00	0,93	0,94
Wariant IV	0,89	0,62	1,00	0,94	0,95
Wariant V	0,80	0,85	0,90	0,79	0,83

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 [6] (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 $j = \overline{1, n}$

Zatem macierz rozwiązań D przyjmuje postać:

$$[D] = \begin{bmatrix} 0,90 & 0,80 & 1,00 & 0,83 & 0,79 \\ 0,83 & 0,87 & 1,00 & 0,86 & 0,90 \\ 0,81 & 0,68 & 1,00 & 0,93 & 0,94 \\ 0,89 & 0,62 & 1,00 & 0,94 & 0,95 \\ 0,80 & 0,85 & 0,90 & 0,79 & 0,83 \end{bmatrix}$$

ETAP III - normalizacja macierzy rozwiązań D do macierzy P. Przekształcenia wyrazów macierzy rozwiązań D przeprowadza się zgodnie ze wzorem [6]:

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

gdzie: n – liczba wariantów

Macierz P przedstawia się następująco:

$$[P] = \begin{bmatrix} 0,213 & 0,209 & 0,204 & 0,191 & 0,179 \\ 0,196 & 0,228 & 0,204 & 0,198 & 0,204 \\ 0,191 & 0,178 & 0,204 & 0,214 & 0,213 \\ 0,210 & 0,162 & 0,204 & 0,216 & 0,215 \\ 0,189 & 0,223 & 0,184 & 0,182 & 0,188 \end{bmatrix}$$

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 4) [6]:

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

gdzie: n – liczba obiektów, $j = \overline{1, m}$ oraz $k = \frac{1}{\ln n} = \frac{1}{\ln 5} = 0,621$

Tabela 4. Wartości entropii E_j dla rozpatrywanych kryteriów oceny.

E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
0,99872	0,99428	0,99893	0,99810	0,99789

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

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

Określenie poziomu zmienności entropii d_j dla każdego kryterium (wskaźnika) zdefiniowano w sposób następujący (tabela 5):

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

Tabela 5. Poziom zmienności entropii d_j dla rozpatrywanych kryteriów oceny.

d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
0,00128	0,00572	0,00107	0,00190	0,00211

ETAP V - określenie stopnia ważności poszczególnych kryteriów. Jeżeli wszystkie kryteria są jednakowo ważne, to wagi oblicza się według wzoru:

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

Natomiast jeśli wszystkie kryteria nie są jednakowo ważne, to wagi oblicza się w następujący sposób:

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

gdzie: $\overline{w_j}$ - wagi określone subiektywnie przez grupę ekspertów [6].

Zaprezentowany w niniejszym opracowaniu przykład liczbowy odnosi się do przypadku, w którym wagi rozpatrywanych kryteriów mają wartości zróżnicowane.

Stopnie ważności poszczególnych kryteriów zaprezentowano poniżej w tabeli 6.

Tabela 6. Wagi poszczególnych kryteriów.

	Kryterium 1	Kryterium 2	Kryterium 3	Kryterium 4	Kryterium 5
w_j	0	0,240	0,299	0,182	0,279
$\overline{w_j}$	0,250	0,200	0,200	0,100	0,150
w_j^0	0	0,286	0,356	0,108	0,249

ETAP VI - obliczenie składowych wektora rozwiązań $C = [c_j]$. Poszczególne składowe wektora C wyliczono przy wykorzystaniu wzoru (8), natomiast wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawiono w tabeli 7.

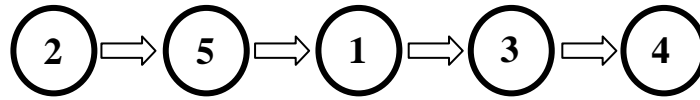
$$c_j = \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot w_j^0, \quad i = \overline{1, n} \quad \text{oraz} \quad c_j \in (0, 1) \quad (8)$$

gdzie: n – liczba wariantów

Tabela 7. Składowe wektora rozwiązań C.

c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
0,831	0,875	0,743	0,712	0,844

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, na rysunku 1 zaprezentowano szereg wariantów preferencyjnych w postaci diagramu Hassego.



Rys. 1. Szereg preferencyjnych wariantów w postaci diagramu Hassego

Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu programu MS Excel w opracowanym - do metody entropii - arkuszu kalkulacyjnym.

5. Podsumowanie

Z przytoczonej analizy wynika, iż:

1. Oczekiwania oceniającego w odniesieniu do określonego wariantu decyzyjnego w dużej mierze uzależnione są od jego punktu widzenia w ramach danej sytuacji decyzyjnej.
2. Z uwagi na specyfikę rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w budownictwie przemysłowym uniwersalne opracowanie, pozwalające na w pełni kompleksowe ujęcie problemu nie jest możliwe. Natomiast realne do zrealizowania w danej sytuacji decyzyjnej jest uzyskanie miarodajnego wyniku oceny oraz wybór wariantu najbardziej adekwatnego do sformułowanych - w określonym systemie kryteriów - oczekiwań przyszłego użytkownika lokalu mieszkalnego.
3. W świetle przyjętych kryteriów oceny obiekt drugi jest najlepszy i najbardziej preferowany,
4. Najwyższą wartość stopnia ważności posiada kryterium numer dwa, czyli „Adaptowalność w aspekcie rozwiązań konstrukcyjnych”,
5. Zaproponowana metoda oceny może być pomocna w procesie podejmowania decyzji, ponieważ umożliwia uporządkowanie zbioru kryteriów oraz wyłonienie wariantu preferowanego (optymalnego).

W ramach przeprowadzonych badań, autorzy do oceny wybranych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w budownictwie przemysłowym zastosowali również inne metody szeregowania wariantów (ELECTRE I, Punktu idealnego, AHP, zbiory rozmyte).

W przekonaniu autorów, analiza wariantów rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych dla różnego typu obiektów budowlanych w dużej mierze opiera się na kryteriach trudno mierzalnych, co narzuca konieczność przeanalizowania i ewentualnego zweryfikowania wiarygodności przeprowadzonych obliczeń.

Interesujący element badawczy stanowi również wpływ przyjętej metody szeregowania wariantów decyzyjnych na ostateczny wynik przeprowadzonych obliczeń.

6. Literatura

- [1] Biruk S., Jaworski M. K., Tokarski Z.: Podstawy organizacji robót drogowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [2] Choynowski M.: Elementy teorii testów psychologicznych. Przegląd Psychologiczny 1959, nr 3.

- [3] Holm K., Hübner P.: Wprowadzenie do metod socjologii empirycznej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985.
- [4] Ignasiak E.: Badania operacyjne. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997.
- [5] Jaworski K. M.: Metodologia projektowania realizacji budowy. PWN, Warszawa 1999.
- [6] Kapliński O. red.: Informatyka stosowana w inżynierii produkcji budowlanej. Praca zbiorowa, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.
- [7] Kolman R.: Ilościowe określanie jakości. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1973.
- [8] Krzemiński M., Książek M.: Wielokryterialna analiza wybranych obiektów budowlanych wraz z analizą kryteriów oceny przy zastosowaniu metody entropii. Warsztaty Inżynierów Budownictwa, „Problemy przygotowania i realizacji inwestycji budowlanych”, Puławy 2008.
- [9] Krzemiński M., Książek M.: Przykład obliczeniowy oceny rozwiązań technologiczno – konstrukcyjnych w centrach logistycznych. Logistyka 2012, nr 6.
- [10] Książek M., Krzemiński M.: Ocena rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w centrach logistycznych. Logistyka 2012, nr 6.
- [11] Książek M.: Wielokryterialna ocena rozwiązań projektowych budynków. Rozprawa doktorska, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
- [12] Książek M., Krzemiński M.: Wielokryterialna ocena wariantów rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w centrach logistycznych przy wykorzystaniu metody punktu idealnego. Technika Transportu Szynowego 2012, nr 6.
- [13] Kuczyńska A. red.: Sztuka a społeczeństwo. Praca zbiorowa. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
- [14] Łagoda G.: Wiadukty nad autostradami. Wybrane zagadnienia kształtowania konstrukcyjnego i estetycznego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej z. 137, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [15] Shannon C. E., Weaver W.: The mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press, Urbana, 1947, T 11.
- [16] Słowiński R.: Modelowanie preferencji w wielokryterialnych problemach decyzyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka Z. 67, Gliwice 1983.
- [17] Szwabowski J., Deszcz J.: Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF LOGISTIC CENTRES' STRUCTURE WITH USE OF IDEAL ENTROPY METHOD

S u m m a r y

Paper presents multicriteria assessment of logistic centres' structure with use of the entropy method. Authors have used questionnaire to select a basic criteria group for assessment to define an importance rank of industrial buildings structure variants. The analysis model illustrates an example of assessment of logistic centres based in main five Polish cities.