

# Wykorzystanie metody TOPSIS w procesie klasyfikacji dobowych obciążeń stacji transformatorowych

**Wojciech Zalewski**

Politechnika Białostocka, Wydział Zarządzania, Katedra Informatyki Gospodarczej i Logistyki  
e-mail: w.zalewski@pb.edu.pl

DOI: 10.12846/j.em.2013.04.07

## Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwość zastosowania metody TOPSIS do grupowania profili obciążeń w elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych na podstawie parametrów opisujących krzywe obciążenia różnych odbiorców. Rozważania teoretyczne poparto analizą danych pomiarowych uzyskanych w wybranych stacjach transformatorowych SN/nn na terenie dawnego Zakładu Energetycznego Białystok Miasto.

## Słowa kluczowe

klasyfikacja obciążeń, elektroenergetyczne sieci rozdzielcze, metoda TOPSIS

## Wstęp

Wiedza na temat zmienności obciążeń w różnych grupach odbiorców energii elektrycznej jest bardzo istotna z punktu widzenia prawidłowego zarządzania eksploatacją elektroenergetycznych sieci rozdzielczych. Zmiany zachodzące na rynku energii elektrycznej wymuszają stosowanie skutecznych metod predykcji zużycia energii elektrycznej co jest podstawą analiz ekonomicznych i technicznych. Znajomość profili zapotrzebowania odbiorców końcowych na moc i energię elektryczną powinna być podstawą formułowania strategii cenowych, konstruowania systemu taryfowego oraz podejmowania działań mających na celu poprawę efektywności wykorzystania i niezawodności sieci rozdzielczych.

W literaturze prezentowanych jest wiele metod dotyczących klasyfikacji odbiorców energii elektrycznej. Wykorzystywane są różne techniki grupowania oraz różne

kryteria doboru wskaźników charakteryzujących budowane klasy odbiorców (Chicco, 2012; Mutanen, 2011; Tsekouras, 2007; Chicco, 2006).

W artykule przedstawiono możliwość zastosowania metody TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) do tworzenia grup profili obciążeń odbiorców w elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych. W literaturze polskiej metoda TOPSIS jest zaliczana do podstawowych metod wzorcowych porządkowania liniowego obiektów wielocechowych (Wysocki, 2010). Rozważania teoretyczne poparto analizą danych pomiarowych uzyskanych w wybranych stacjach transformatorowych SN/nn na terenie dawnego Zakładu Energetycznego Białystok Miasto.

## 1. Wskaźniki zmienności obciążenia dobowego

Najczęściej charakteryzowaną zmiennością obciążeń jest zmienność dobową. Do jej opisu wykorzystuje się między innymi następujące wskaźniki (Matla, 1979):

- 1) dobowe zużycie energii elektrycznej –  $A_d$ ,
- 2) dobowe obciążenie szczytowe –  $P_{ds}$ ,
- 3) średnie obciążenie dobowe –  $P_{dsr}$ ,
- 4) dobowe obciążenie podstawowe –  $P_{d0}$ ,
- 5) średni dobowy stopień obciążenia –  $m_d = \frac{P_{dsr}}{P_{ds}}$ ,
- 6) dobowy stopień wyrównania obciążenia podstawowego –  $l_{d0} = \frac{P_{d0}}{P_{dsr}}$ ,
- 7) dobowy stopień obciążenia podstawowego –  $m_{d0} = \frac{P_{d0}}{P_{ds}}$ ,
- 8) dobowy szczytowy stopień wyrównania –  $l_{ds} = \frac{P_{ds}}{P_{dsr}}$ ,

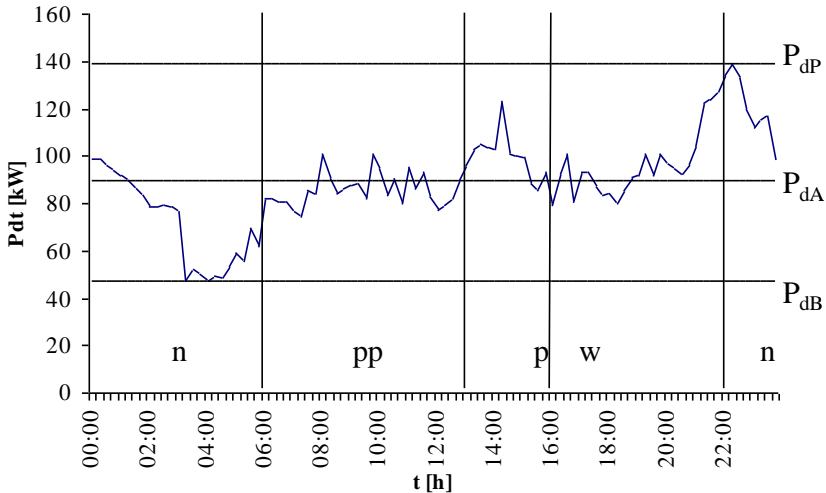
Dodatkowymi wskaźnikami mogą być również współczynniki wyrównania obciążenia w charakterystycznych okresach doby (rys. 1). Średni współczynnik wyrównania dla każdej kolumny jest zdefiniowany jako stosunek średniego obciążenia w danej kolumnie do średniego obciążenia dobowego:

$$l_c = \frac{P_{jsr}}{P_{dsr}} \quad (1)$$

gdzie:  $c$  – indeks kolumny (n-noc, pp-przedpołudnie, p-popołudnie, w-wieczór),

$P_{jsr}$  – średnie obciążenie w kolumnie  $j$ ,

$P_{dsr}$  – średnie obciążenie dobowe.



Rys. 1. Przykładowy przebieg obciążenia dobowego

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wartości przedstawionych parametrów klasyfikuje się poszczególnych odbiorców do określonych klas. Wykresy obciążenia przyjmuje się za podobne, jeżeli odpowiednie wskaźniki dla różnych odbiorców mają zbliżone wartości (Nazarcko, 1993).

Opisane wskaźniki charakteryzujące obciążenie odbiorców energii elektrycznej wykorzystano w procesie grupowania jako cechy kryterium w metodzie TOPSIS.

## 2. Metoda badań

Idea metody TOPSIS polega na określeniu odległości rozpatrywanych obiektów od rozwiązania idealnego i antyidealnego. Końcowym rezultatem analizy jest wskaźnik syntetyczny tworzący ranking badanych obiektów. Za najlepszy obiekt uważa się ten, który ma najmniejszą odległość od rozwiązania idealnego i jednocześnie największą od rozwiązania antyidealnego (Hwang i Yoon, 1981).

W procesie decyzyjnym zakładamy, że rozpatrujemy  $m$ -elementowy zbiór obiektów przy użyciu  $n$  cech. Tworzy to macierz danych  $\mathbf{X}[m \times n]$  wartości osiągniętych przez obiekty w każdej z cech. Dodatkowo określa się arbitralnie wektor wag

przypisanych kolejnym cechom  $\mathbf{w}$  [ $1 \times n$ ] oraz ich rodzaj (stymulanta lub destymulanta). Procedura obliczeniowa (Hwang, Yoon, 1981) przebiega w następujących etapach:

1. Utworzenie znormalizowanej macierzy danych według formuły:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m \text{ oraz } j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

2. Uwzględnienie wag przypisanych poszczególnym cechom:

$$v_{ij} = w_j \cdot z_{ij} \quad (3)$$

3. Ustalenie wektora wartości rozwiązania idealnego  $a^+$  i antyidealnego  $a^-$ :

$$a^+ = (a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+) := \{(\max_{i=1, \dots, m} v_{ij} | j \in J_Q), (\min_{i=1, \dots, m} v_{ij} | j \in J_C)\}, \quad (4)$$

$$a^- = (a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-) := \{(\min_{i=1, \dots, m} v_{ij} | j \in J_Q), (\max_{i=1, \dots, m} v_{ij} | j \in J_C)\}, \quad (5)$$

gdzie  $J_Q$  to zbiór stymulant,  $J_C$  to zbiór destymulant.

4. Obliczenie odległości euklidesowych badanych obiektów od rozwiązania idealnego i antyidealnego:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2} \quad \dots \text{ dla } i = 1, 2, \dots, m \text{ oraz } j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2} \quad \dots \text{ dla } i = 1, 2, \dots, m \text{ oraz } j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

5. Wyznaczenie współczynnika rankingowego określającego podobieństwo obiektów do rozwiązania idealnego:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad \dots \text{ dla } i = 1, 2, \dots, m, \text{ przy czym } 0 \leq R_i \leq 1 \quad (8)$$

Największa wartość współczynnika  $R_i$  wskazuje na rozwiązanie (obiekt) najlepsze w rozpatrywanym problemie porządkowania liniowego. Jednocześnie wartości te mogą być użyte w procesie przyporządkowania odbiorców do odpowiednich klas.

### 3. Eksperyment pomiarowy

W ramach zadania badawczego przeprowadzono pomiary w jedenastu stacjach transformatorowych SN/nn w obrębie Rejonu Energetycznego Białostok Miasto.

Eksperyment pomiarowy pozwolił zarejestrować obciążenia stacji w pełnym cyklu rocznym. Dane o wybranych stacjach przedstawiono w tabeli 1. Średnie roczne wartości wskaźników opisujących dobową zmienność obciążeń w poszczególnych stacjach przedstawiono w tabeli 2.

**Tab. 1.** Parametry stacji i typ zasilanych odbiorców

Numer stacji	Średnie dobowe zużycie energii $A_d$ [kWh]	Średnia wartość mocy szczytowej $P_{ds}$ [kW]	Typ zasilanych odbiorców
35	390,03	34,40	zakłady usługowo-handlowe
54	2805,96	174,43	bloki mieszkalne + drobne usługi
56	540,79	40,63	domy jednorodzinne + kościół
120	1020,68	77,53	zakłady usługowe + restauracja
158	816,04	65,93	bloki mieszkalne
638	960,06	65,11	bloki mieszkalne
734	1640,00	113,14	domy jednorodzinne + usługi
767	1951,44	129,27	bloki mieszkalne
902	1970,48	128,74	bloki mieszkalne + więzienie
1197	835,24	58,65	szkoła muzyczna
1643	709,70	81,64	bazar

Źródło: opracowanie własne.

**Tab. 2.** Średnie roczne wartości parametrów charakteryzujących obciążenie badanych stacji

Numer stacji	$m_d$	$l_{do}$	$m_{do}$	$l_{ds}$	$l_n$	$l_{pp}$	$l_p$	$l_w$
35	0,50	0,42	0,22	2,05	0,57	1,45	1,58	0,76
54	0,67	0,59	0,39	1,51	0,95	0,88	1,06	1,19
56	0,56	0,50	0,29	1,81	0,79	1,12	1,22	1,03
120	0,55	0,47	0,26	1,83	0,81	1,03	1,23	1,10
158	0,52	0,52	0,27	1,94	0,74	0,92	1,02	1,44
638	0,62	0,56	0,35	1,63	0,83	0,94	1,01	1,29
734	0,60	0,56	0,34	1,66	0,86	0,89	1,05	1,29
767	0,63	0,51	0,32	1,59	0,70	1,01	1,13	1,33
902	0,64	0,52	0,34	1,57	0,67	1,22	1,17	1,10
1197	0,59	0,39	0,23	1,70	0,87	1,00	1,07	1,13
1643	0,36	0,24	0,09	2,76	0,60	2,14	0,60	0,40

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione w tabeli 2 wskaźniki oraz średnie dobowe zużycie energii elektrycznej zostały użyte w procesie grupowania profili obciążeń dobowych.

## 4. Wyniki badań

Proces grupowania przeprowadzono dla pięciu przypadków. W pierwszym wykozystano średnie dobowe zużycie energii elektrycznej ( $A_d$ ) i średnie współczynniki wyrównania ( $I_n$ ,  $I_{pp}$ ,  $I_p$ ,  $I_w$ ). W drugim średnie dobowe zużycie energii ( $A_d$ ) i średnie współczynniki charakteryzujące dobę ( $m_d$ ,  $l_{d0}$ ,  $m_{d0}$ ,  $l_{ds}$ ). W trzecim wszystkie obliczone wcześniej wskaźniki i zużycie energii elektrycznej. W czwartym tylko średnie współczynniki wyrównania ( $I_n$ ,  $I_{pp}$ ,  $I_p$ ,  $I_w$ ), a w piątym tylko średnie współczynniki charakteryzujące dobę ( $m_d$ ,  $l_{d0}$ ,  $m_{d0}$ ,  $l_{ds}$ ). Następnie zgodnie z formułą (2) algorytmu metody TOPSIS obliczono znormalizowaną macierz  $Z$ , którą dla przypadku I przedstawiono w tabeli 3. Podano w niej również wartości wag oraz kryteria odnoszące się do poszczególnych wskaźników.

**Tab. 3.** Znormalizowana macierz danych (przypadek I)

Stacja	$A_d$	$I_n$	$I_{pp}$	$I_p$	$I_w$
35	0,082	0,224	0,364	0,422	0,203
54	0,591	0,370	0,220	0,284	0,317
56	0,114	0,307	0,283	0,328	0,274
120	0,215	0,318	0,258	0,331	0,294
158	0,172	0,288	0,231	0,272	0,383
638	0,202	0,325	0,237	0,272	0,343
734	0,346	0,337	0,223	0,281	0,344
767	0,411	0,273	0,254	0,302	0,355
902	0,415	0,264	0,306	0,313	0,293
1197	0,176	0,341	0,252	0,287	0,302
1643	0,150	0,236	0,539	0,160	0,106
waga	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kryterium	max	max	min	max	min

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnym kroku obliczono macierze ważne dla każdego rozpatrywanego przypadku oraz rozwiązania (obiekty) idealne i antyidealne, które przedstawiono w tabeli 4. Rodzaje kryterium dla poszczególnych cech (wskaźników) określono w ten sposób, aby rozwiązanie idealne prezentowało obciążenie o największej zmienności, a rozwiązanie antyidealne przeciwnie. Pozwoli to wyróżnić skrajne kształty dobowych profili obciążeń, pomiędzy którymi znajdować się będą badane obiekty.

Tab. 4. Rozwiązania idealne  $a^+$  i antyidealne  $a^-$  dla rozpatrywanych przypadków

Przypadek	Rozwiązanie	$A_d$	$m_d$	$l_{d0}$	$m_{d0}$	$l_{ds}$	$l_n$	$l_{pp}$	$l_p$	$l_w$
I	$a^+$	0,118	-	-	-	-	0,045	0,108	0,032	0,077
I	$a^-$	0,016	-	-	-	-	0,074	0,044	0,084	0,021
II	$a^+$	0,118	0,070	0,029	0,081	0,049	-	-	-	-
II	$a^-$	0,016	0,038	0,072	0,018	0,090	-	-	-	-
III	$a^+$	0,591	0,224	0,539	0,160	0,383	0,349	0,145	0,405	0,246
III	$a^-$	0,082	0,370	0,220	0,422	0,106	0,191	0,362	0,089	0,449
IV	$a^+$	-	-	-	-	-	0,056	0,135	0,040	0,096
IV	$a^-$	-	-	-	-	-	0,092	0,055	0,106	0,026
V	$a^+$	-	0,087	0,036	0,101	0,062	-	-	-	-
V	$a^-$	-	0,048	0,090	0,022	0,112	-	-	-	-

Źródło: opracowanie własne.

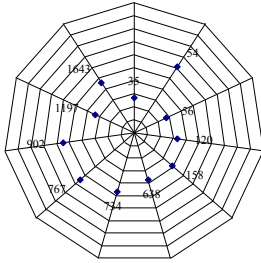
Po obliczeniu odległości poszczególnych obiektów od rozwiązania idealnego i antyidealnego według formuły (6) i (7) uzyskano, według formuły (8), syntetyczne wskaźniki  $R_i$  zmienności obciążenia dobowego poszczególnych stacji (tab. 5).

Tab. 5. Wartości syntetycznego wskaźnika  $R_i$  zmienności obciążenia dobowego

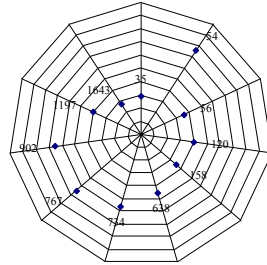
Stacja	I	Grupa	II	Grupa	III	Grupa	IV	Grupa	V	Grupa
35	0,2665	1	0,2833	1	0,3219	1	0,3848	1	0,4810	2
54	0,6006	4	0,7507	4	0,6161	4	0,4004	2	0,6527	4
56	0,2693	1	0,3530	2	0,3642	1	0,3880	1	0,5735	3
120	0,3318	2	0,4050	2	0,3966	1	0,3828	1	0,5516	3
158	0,3871	2	0,3553	2	0,4178	2	0,4945	2	0,5122	3
638	0,3751	2	0,4578	3	0,4575	2	0,4569	2	0,6280	4
734	0,4692	3	0,5696	3	0,5146	3	0,4383	2	0,6153	4
767	0,5442	4	0,6481	4	0,5748	3	0,4771	2	0,6497	4
902	0,5500	4	0,6548	4	0,5843	3	0,4647	2	0,6553	4
1197	0,3253	2	0,3939	2	0,4012	2	0,4133	2	0,5891	3
1643	0,4569	3	0,2740	1	0,4252	2	0,6095	3	0,3473	1

Źródło: opracowanie własne.

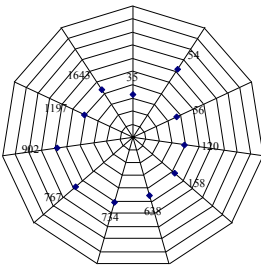
Rozkład wskaźników zmienności obciążenia uzyskanych dla poszczególnych przypadków grupowania przedstawiono na rysunku 2. Na podstawie analizy wartości współczynników zawartych w tabeli 5 oraz ich rozkładu na wykresach zamieszczonych na rysunku 2 wyodrębniono grupy stacji o podobnych przebiegach obciążeń elektrycznych.



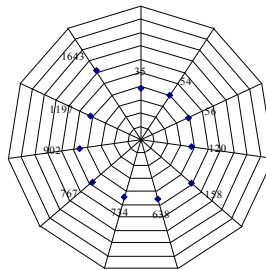
Przypadek I



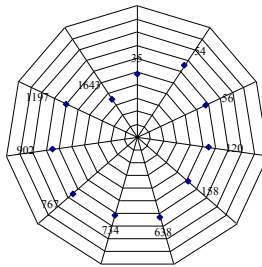
Przypadek II



Przypadek III



Przypadek IV



Przypadek V

**Rys. 2.** Rozkład wskaźników zmienności obciążenia

Źródło: opracowanie własne.



## 5. Dyskusja wyników

W procesie grupowania wyodrębniono cztery klasy obciążeń (w przypadku IV tylko trzy). Przy równych wagach nadanych poszczególnym cechom (wskaźnikom) w przypadku I, II oraz III otrzymano bardzo podobny skład poszczególnych grup. Bardzo wyraźnie do odrębnych klas należą stacja numer 35 i numer 54. W tych przypadkach znaczący wpływ na proces grupowania ma średnie dobowe zużycie energii elektrycznej przy niewielkich różnicach wartości pozostałych wskaźników. Rezultaty uzyskane w przypadku IV i V nie uwzględniają wpływu średniego dobowego zużycia energii elektrycznej. Uzyskane klasy różnią się od siebie, a ich skład zależy wyraźnie od wskaźników użytych w metodzie klasyfikacji. Najlepszym modelem wydaje się być przypadek pierwszy, który uwzględnia średnie dobowe zużycie energii elektrycznej oraz średnie dobowe współczynniki wyrównania.

## Podsumowanie

Proces grupowania obciążeń stacji transformatorowych został przeprowadzony z wykorzystaniem metody TOPSIS, która należy do metod porządkowania liniowego obiektów wielocechowych. Otrzymane rezultaty wskazują na możliwość budowy klasyfikacji badanych obiektów z wykorzystaniem kilku wskaźników charakteryzujących przebieg obciążeń. Współczynniki wagowe przypisane poszczególnym cechom mogą być ustalone arbitralnie przez decydenta lub wynikać z opinii (na przykład uśrednionej) pozyskanej od ekspertów w danej dziedzinie. Można także wykorzystać istniejące metody niezależnego wyznaczenia wag poprzez porównanie kryteriów między sobą. Przeprowadzone badania pozwoliły wyodrębnić cztery grupy stacji transformatorowych. Analiza byłaby pełniejsza przy dodatkowych wskaźnikach określających czas wystąpienia obciążenia szczytowego oraz uwzględnieniu zmienności sezonowej obciążenia, co zostanie uwzględnione w dalszych badaniach.

## Literatura

1. Chicco G. (2012), *Overview and performance assessment of the clustering methods for electrical load pattern grouping*, Energy 42, Elsevier
2. Chicco G., Napoli R., Piglione F. (2006), *Comparison Among Clustering Techniques for Electricity Customer Classification*, IEEE Transactions on Power Systems 21 (2)

3. Hwang C. L., Yoon K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 186
4. Matla R. (1979), *Gospodarka elektroenergetyczna*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa
5. Mutanen A., Ruska M., Repo S., Jarventausta P. (2011), *Customer Classification and Load Profiling Method for Distribution Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery 26 (3)
6. Nazarko J. (1993), *Modeling of Electrical Power Distribution Systems*, Bialystok University of Technology, Bialystok
7. Nazarko J., Broadwater R.P., Tawalbeh N.I. (1998), *Identification of Statistical Properties of Diversity and Conversion Factors from Load Research Data*, w: MELECON'98, 9<sup>th</sup> Mediterranean Electrotechnical Conference, Tel-Aviv, Israel
8. Tsekouras G. J., Hatziaargyriou N. D., Dialynas E. N. (2007), *Two-Stage Pattern Recognition of Load Curves for Classification of Electricity Customers*, IEEE Transactions on Power Systems 22 (3)
9. Wysocki F. (2010), *Metody taksonomiczne w rozpoznawaniu typów ekonomicznych rolnictwa i obszarów wiejskich*, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań

## **Applications of TOPSIS Method in Clustering of 24-hour Loads in Electric Power Distribution Substations**

### **Abstract**

This paper presents an application of the TOPSIS method for classification of load profiles in electric power distribution systems. Verification of the proposed method of load clustering was based on the data from selected distribution substations in Bialystok Power Distribution Utility Co. Simulation studies have been performed to demonstrate the efficiency of the proposed method and an effect of different parameters on its accuracy on the basis of actual data obtained at distribution system substations.

### **Keywords**

load clustering, power distribution systems, TOPSIS method