

# Statystyczna analiza zmienności obciążeń w sieciach rozdzielczych

## Statistical Analysis of the Load Variability in Distribution Network

**Wojciech Zalewski**

Politechnika Białostocka, Wydział Zarządzania, Katedra Informatyki Gospodarczej  
i Logistyki

### **Abstract**

This paper presents application statistical analysis to the electrical load modeling clustering of load profiles in different part of system was used to classify the substations. Simulation studies have been performed to demonstrate the efficiency of the proposed scheme and an effect of different parameters on its accuracy on the basis of actual data obtained at distribution system substations. To verify the proposed method of load estimation the measurements of daily energy consumption and daily load at selected distribution substations in Białystok Power Distribution Utility Co. were made in 365 days. Simulation studies have been performed to demonstrate the efficiency of the proposed scheme and an effect of different parameters on its accuracy on the basis of actual data obtained at distribution system substations.

**Keywords:** statistical analysis, load profiles, power distribution systems

### **Wstęp**

Wiedza na temat zmienności obciążeń występujących w różnych grupach odbiorców energii elektrycznej jest bardzo istotna, z punktu widzenia prawidłowego zarządzania eksploatacją elektroenergetycznych sieci rozdzielczych. W świetle zmian zachodzących na rynku energii elektrycznej, skuteczna analiza krzywych obciążenia i ich właściwa klasyfikacja staje się coraz bardziej istotna z ekonomicznego i technicznego punktu widzenia. Znajomość profili zapotrzebowania odbiorców końcowych na moc i energię elektryczną powinna być podstawą formułowania strategii cenowych, konstruowania systemu taryfowego oraz podejmowania dzia-

łań mających na celu poprawę efektywności i niezawodności wykorzystania sieci rozdzielczych. Dane ilustrujące zachowania odbiorców mogą być też podstawą przygotowania i wdrożenia programów z zakresu zarządzania popytem na energię elektryczną (DSM). W artykule przedstawiono statystyczne zależności między parametrami opisującymi krzywe obciążenia dla różnych grup odbiorców. Przeanalizowano możliwość wykorzystania różnych wskaźników do grupowania poszczególnych odbiorców energii elektrycznej w klasy podobieństwa. Rozważania teoretyczne poparto analizą danych pomiarowych uzyskanych w wybranych stacjach transformatorowych SN/nn na terenie Zakładu Energetycznego Białostok Miasto.

## 1. Wskaźniki charakteryzujące zmienność obciążenia

Najczęściej charakteryzowaną zmiennością obciążeń jest zmienność dobową. Regulacje prawne Unii Europejskiej<sup>1</sup> oraz ustawodawstwo polskie<sup>2</sup>, nakładają na spółki dystrybucyjne obowiązek wprowadzenia standardowych profili obciążenia dla odbiorców zasilanych z sieci rozdzielczych niskiego napięcia. Profile te tworzone są dla sześciu charakterystycznych dób w roku: doby roboczej zimowej, doby roboczej letniej, doby roboczej wiosenno-jesiennej, doby świątecznej zimowej, doby świątecznej letniej i doby świątecznej wiosenno-jesiennej. Najczęściej do opisu dobowej zmienności obciążenia wykorzystuje się następujące wskaźniki<sup>3</sup>:

- 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 –  $m_{d0} = \frac{P_{d0}}{P_{ds}}$ ,

<sup>1</sup> Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2003/54/WE z dnia 26.06.2003.

<sup>2</sup> Ustawa Prawo Energetyczne, Dz.U. nr 89, poz. 625, 2006.

<sup>3</sup> Matla R., 1979. *Gospodarka elektroenergetyczna*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

$$8) \text{ dobowy szczytowy stopień wyrównania} - I_{ds} = \frac{P_{ds}}{P_{dsr}},$$

$$9) \text{ czas użytkowania mocy szczytowej} - T_{ds} = \frac{A_d}{P_{ds}}.$$

Dodatkowym wskaźnikiem, może być również godzina wystąpienia obciążenia szczytowego ( $t_{pds}$ ). 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<sup>4</sup>.

## 2. Eksperyment pomiarowy

W ramach zadania badawczego przeanalizowano dostępne obiekty pomiarowe w obrębie funkcjonowania RE Białystok Miasto. Wybrano 11 stacji transformatorowych SN/nn, w których możliwe było zainstalowanie aparatury pomiarowej. Stacje zróżnicowano pod kątem rodzaju odbiorców zasilanych z każdej z nich. Czas trwania eksperymentu pomiarowego ustalono na 12 miesięcy, co pozwoliło zarejestrować obciążenia stacji w pełnym cyklu rocznym.

Dane o wybranych stacjach transformatorowych przedstawiono w tabeli 1.

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

Nr stacji	Moc transformatora	Liczba odbiorców	Typ odbiorców
35	250 kV·A	50	zakłady usługowo-handlowe
54	250 kV·A	75	bloki mieszkalne + drobne usługi
56	250 kV·A	88	domy jednorodzinne + kościół
120	250 kV·A	102	zakłady usługowe + restauracja
158	250 kV·A	160	bloki mieszkalne
638	400 kV·A	150	bloki mieszkalne
734	250 kV·A	56	domy jednorodzinne + drobne usługi
767	160 kV·A	148	bloki mieszkalne
902	400 kV·A	200	bloki mieszkalne + więzienie
1197	160 kV·A	67	szkoła muzyczna
1643	250 kV·A	257	bazar

Źródło: opracowanie własne.

<sup>4</sup> Nazarko J., 1991. *Estymacja stanów pracy elektroenergetycznych sieci rozdzielczych*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.

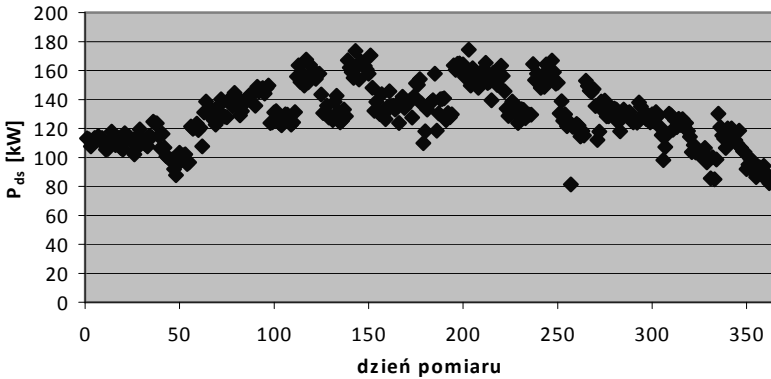
Rejestracja obciążeń w wybranych węzłach sieci została przeprowadzona przy wykorzystaniu automatycznej aparatury pomiarowej. Częstotliwość pomiarów wynosiła 15 minut. Dla każdej stacji zarejestrowano około 35 000 odczytów napięć, prądów, cosinusów  $\varphi$  i mocy czynnej. Zebrane materiały badawcze zostały uporządkowane. Przetrasponowano zapis wewnętrzny z urządzeń pomiarowych na poziom tekstowy, a następnie wczytano do programu MS Excel. Po przeprowadzeniu wstępnych obliczeń, średnie roczne wartości wskaźników opisujących dobową zmienność obciążeń w poszczególnych stacjach przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Średnie roczne wartości parametrów charakteryzujących

Nr stacji	$P_{ds}$ [kW]	$A_d$ [kWh]	$P_{d\bar{s}r}$ [kW]	$P_{d0}$ [kW]	$t_{pds}$ [godz.]	$m_d$	$l_{d0}$	$m_{d0}$	$l_{ds}$	$T_{ds}$ [h]
35	34,40	390,03	16,26	6,20	12:15	0,50	0,42	0,22	2,05	12,09
54	174,43	2805,96	116,92	70,66	20:00	0,67	0,59	0,39	1,51	15,97
56	40,63	540,79	22,52	11,45	12:30	0,56	0,50	0,29	1,81	13,53
120	77,53	1020,68	42,54	19,94	13:45	0,55	0,47	0,26	1,83	13,25
158	65,93	816,04	34,01	17,52	18:15	0,52	0,52	0,27	1,94	12,53
638	65,11	960,06	40,01	22,57	19:30	0,62	0,56	0,35	1,63	14,84
734	113,14	1640,00	68,33	38,78	19:45	0,60	0,56	0,34	1,66	14,49
767	129,27	1951,44	81,31	41,18	19:15	0,63	0,51	0,32	1,59	15,19
902	128,74	1970,48	82,10	43,48	11:30	0,64	0,52	0,34	1,57	15,35
1197	58,65	835,24	34,80	13,25	15:15	0,59	0,39	0,23	1,70	14,23
1643	81,64	709,70	29,57	7,21	9:00	0,36	0,24	0,09	2,76	8,76

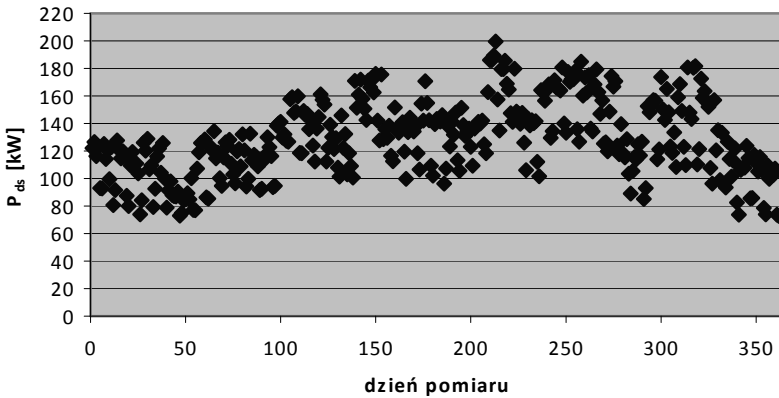
Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z analizy tabeli 2 stacja 767 i stacja 902 mają bardzo zbliżone wartości obliczonych współczynników (oprócz godziny wystąpienia obciążenia szczytowego), co sugeruje, że obydwie stacje należą do tej samej klasy odbiorców i powinny mieć podobne profile obciążeń. Porównanie dobowych wartości wybranych parametrów wskazuje na różnice w kształtach profili obciążeń obydwu stacji. Na rys. 1 oraz rys. 2 przedstawiono wartości dobowego obciążenia szczytowego w ciągu roku.



Źródło: opracowanie własne.

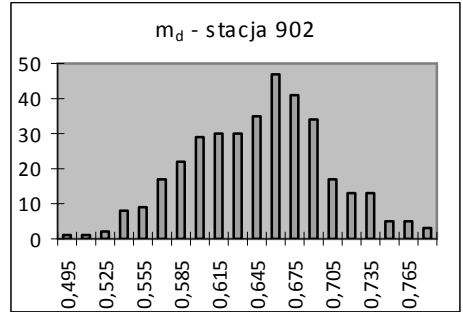
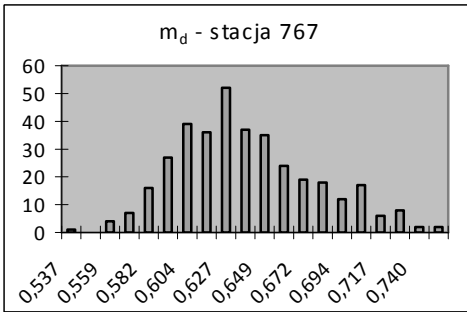
**Rys. 1.** Wartość mocy szczytowej w stacji nr 767



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 2.** Wartość mocy szczytowej w stacji nr 902

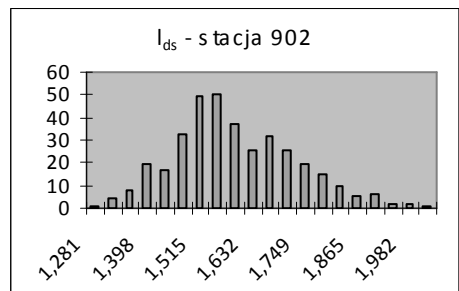
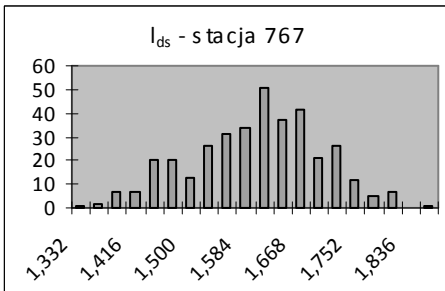
Analizując histogramy wartości średniego dobowego współczynnika obciążenia obu stacji (rys. 3), widać różnicę w rozkładzie częstości. Dla stacji 767 jest to rozkład prawoskośny, dla stacji 902 lewoskośny.



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 3.** Histogramy współczynnika  $m_d$  w badanych stacjach

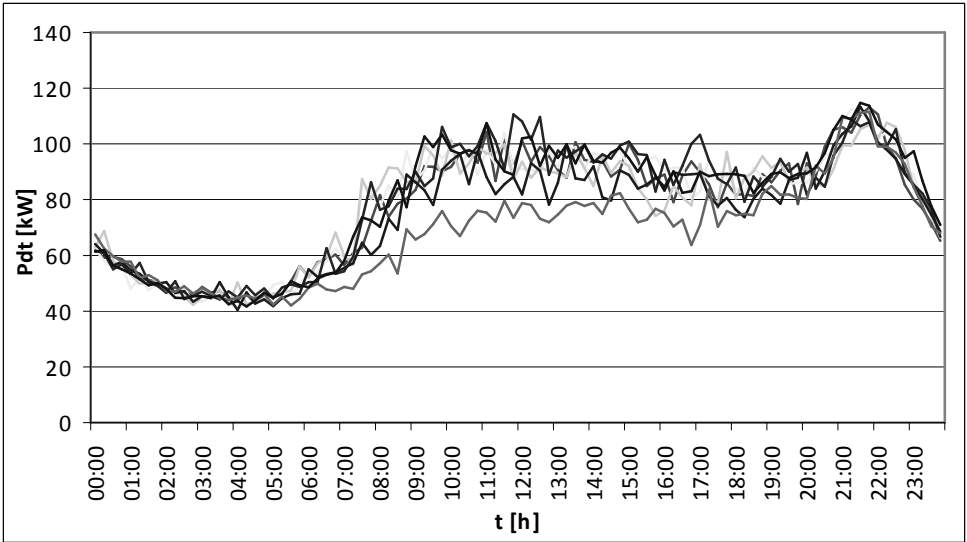
Podobnie, przy analizie histogramów dobowego szczytowego współczynnika wyrównania (rys. 4), można zaobserwować różnice w mierze asymetrii rozkładu częstości. Obydwa prezentowane wskaźniki mają zbliżone wartości średnie w ciągu roku.



Źródło: opracowanie własne.

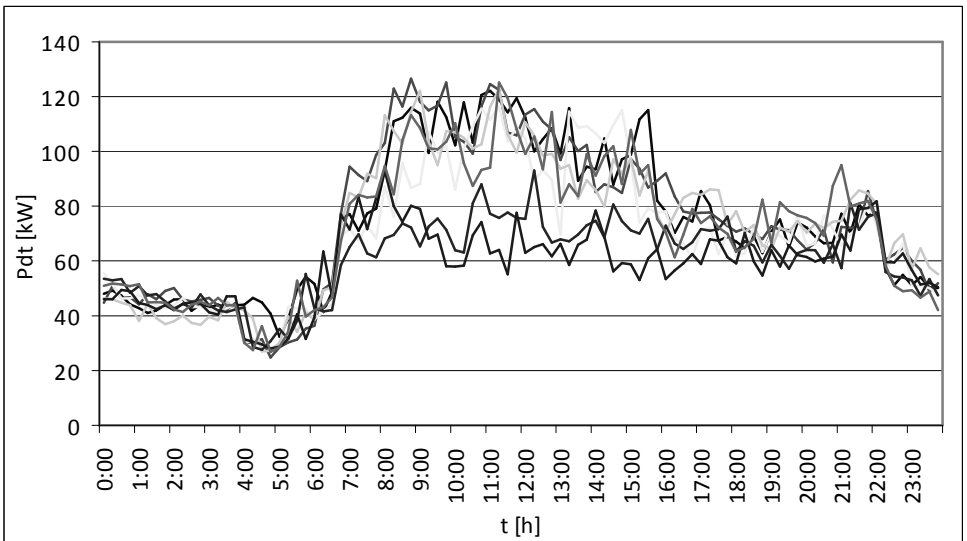
**Rys. 4.** Histogramy współczynnika  $I_{ds}$  w badanych stacjach

Mimo zbliżonych średnich wartości parametrów charakteryzujących dobową zmienność obciążenia, kształt przykładowych krzywych obciążenia w porównywanych stacjach jest inny (rys. 5 i rys. 6).



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 5.** Przykładowe tygodniowe profile obciążenia w stacji 767



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 6.** Przykładowe tygodniowe profile obciążenia w stacji 902

Jak wynika z przedstawionych przebiegów krzywych obciążenia, różnią się one przede wszystkim momentem wystąpienia obciążenia szczytowego, co sugeruje, że ten parametr mógłby być brany pod uwagę w procesie klasyfikacji stacji. Proces przydziału odbiorców do danej klasy nie powinien odbywać się jedynie na podstawie średnich rocznych wartości opisanych współczynników. Konstrukcja standardowych profili obciążenia powinna uwzględnić czas wystąpienia obciążenia szczytowego, co jest możliwe przy wykorzystaniu średnich dobowych współczynników wyrównania obliczanych w różnych przedziałach doby<sup>5</sup>.

### 3. Podsumowanie

Modelowanie i prognozowanie obciążeń należy do kluczowych zadań, które powinny być realizowane na etapie planowania przez spółki dystrybucyjne rozwoju elektroenergetycznych sieci rozdzielczych. Z tego względu, należy szczególnie uważnie porównać wszystkie dane charakteryzujące stacje i ustalić ich przynależność do poszczególnych klas odbiorców. Jako wskaźniki grupowania, oprócz liczby odbiorców zasilanych z danej stacji, stopnia wykorzystania mocy transformatora zainstalowanego w stacji, rodzaju taryfy, według której rozliczają się odbiorcy, mogą służyć średnie współczynniki wyrównania i zużycie energii elektrycznej.

### Piśmiennictwo

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2003/54/WE z dnia 26.06.2003.
2. Ustawa Prawo Energetyczne, Dz.U. nr 89, poz. 625, 2006.
3. Matla R. 1979. *Gospodarka elektroenergetyczna*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
4. Nazarko J. 1991. *Estymacja stanów pracy elektroenergetycznych sieci rozdzielczych*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
5. Zalewski W. 2006. *Application of fuzzy inference to electric load clustering*, IEEE PES India Power Conference, New Delhi, 10-12 April, 2006.

---

<sup>5</sup> Zalewski W., 2006. *Application of fuzzy inference to electric load clustering*. IEEE PES India Power Conference, New Delhi, 10-12 April.