

*Małgorzata Trojanowska, Krzysztof Nęcka  
Katedra Energetyki Rolniczej  
Akademia Rolnicza w Krakowie*

## **WYZNACZANIE OBCIĄŻEŃ SZCZYTOWYCH W WIEJSKICH SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH**

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono modele przydatne do wyznaczania rocznego obciążenia szczytowego wiejskiej stacji transformatorowej 15/0,4 kV, w postaci regresyjnych zależności pomiędzy obciążeniem szczytowym stacji, a zużyciem energii elektrycznej przez odbiorców zasilanych za jej pośrednictwem. Praca zawiera także analizę dobowej, tygodniowej i rocznej zmienności obciążenia odbiorców wiejskich oraz wyniki obliczeń rocznego czasu użytkowania mocy szczytowej, dokonanych w oparciu o wyniki ciągłej rejestracji poboru mocy czynnej w wybranych wiejskich stacjach transformatorowych.

**Słowa kluczowe:** wiejskie sieci elektroenergetyczne, zużycie energii elektrycznej, obciążenie szczytowe.

### **Wstęp**

Wiejskimi sieciami elektroenergetycznymi nazywa się sieci niskiego i średniego napięcia zasilające wyłącznie wsie. Postępujący proces mechanizacji i automatyzacji produkcji rolnej powoduje systematyczny wzrost obciążeń szczytowych w tych sieciach. Znajomość obciążeń szczytowych jest niezbędna przy projektowaniu i modernizacji sieci, a także z punktu widzenia racjonalnego użytkowania mocy i energii elektrycznej. Wyznaczanie obciążeń szczytowych jest zadaniem trudnym, zwłaszcza w sieciach niskiego napięcia wobec ograniczonych możliwości wykonywania pomiarów mocy w tych sieciach.

W praktyce projektowej spotyka się niewiele sposobów obliczania mocy szczytowej w wiejskich sieciach niskiego napięcia, a te, które istnieją wymagają często znacznej ilości trudnych do uzyskania danych oraz umiejętności operowania zaawansowanymi metodami matematycznymi, a zatem są kosztowne. Przedsiębiorstwa do prognozowania częściej i chętniej wykorzystują metody tańsze, nawet kosztem pewnego obniżenia wiarygodności prognoz. Szczególnie preferują one metody regresji, zwłaszcza liniowej oraz metody oparte na znajomości czasu użytkowania mocy szczytowej.

Celem pracy było zebranie, statystyczne opracowanie danych oraz zbudowanie modeli regresji umożliwiających określanie rocznego obciążenia szczytowego wiejskich stacji transformatorowych 15/04 kV na podstawie dostępnych, związanych z obciążeniami, danych uzupełniających. W pracy oszacowano również aktualny czas użytkowania rocznej mocy szczytowej przez odbiorców wiejskich.

Cel pracy zrealizowano na podstawie wyników pomiarów własnych przeprowadzonych w stacjach transformatorowych na terenach wiejskich Polski południowej, a odbiorcami zasilanymi za ich pośrednictwem były głównie gospodarstwa domowe i rolne. W wybranych stacjach transformatorowych wykonywano całodobowe pomiary obciążeń mocą czynną przy użyciu specjalistycznych mierników rejestrujących AS-3.

### **Wyniki pomiarów**

Przez pojęcie obciążenia szczytowego rozumie się maksymalną wartość mocy czynnej średniej 10.minutowej, która wystąpiła w analizowanym okresie. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że wielkością najbardziej skorelowaną z obciążeniem szczytowym stacji transformatorowej jest zużycie energii elektrycznej przez odbiorców zasilanych za jej pośrednictwem [Marzecki 2001; Trojanowska 2003; Zaleski 1998].

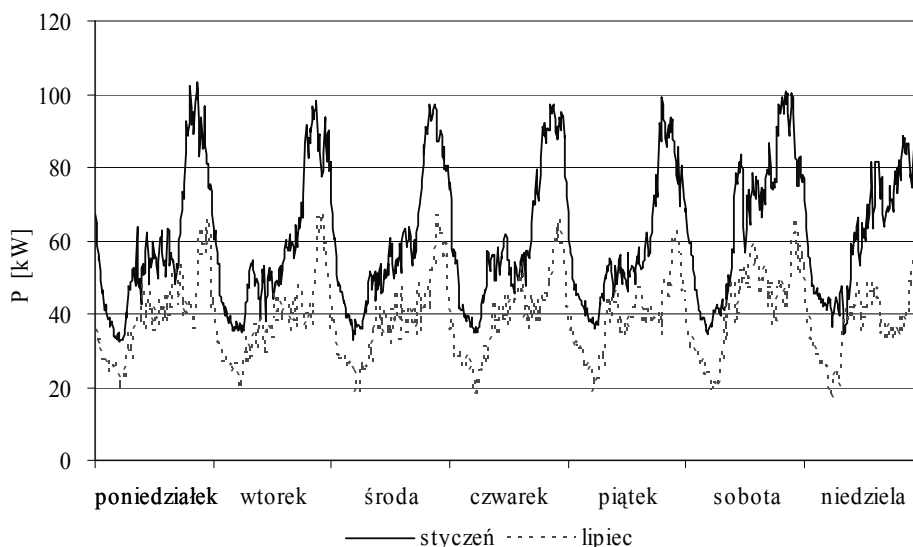
Słuszność tego twierdzenia potwierdziła również wykonana w pracy analiza korelacji, która wykazała istnienie silnej zależności pomiędzy wymienionymi wielkościami dla różnych okresów czasu (doby, roku), gdyż współczynniki korelacji przekraczały wartość 0,95.

Opracowanie zależności regresyjnych wiążących obciążenie szczytowe ze zużyciem energii poprzedzono analizą zmienności zapotrzebowania na moc w okresie doby, tygodnia i roku. Przykładowe dobowe przebiegi średnich 10.minutowych obciążeń mocą czynną zarejestrowane w wybranym tygodniu zimowym i letnim 2006 r. w typowej wiejskiej stacji transformatorowej 15/0,4 kV, przedstawiono na rysunku 1.

Ze względu na charakter zmienności obciążeń można wyróżnić dwa rodzaje dni: robocze oraz świąteczne, przy czym poziom obciążeń w lecie jest o ok. 50% mniejszy niż w zimie. W dniach roboczych wyraźnie widać szczyt wieczorny. Godziny jego występowania zmieniają się w ciągu roku zależnie od długości dnia, jednak zawsze szczyt pojawia się po zachodzie słońca. W dni świąteczne szczyt wieczorny jest znacznie mniej widoczny niż w dni robocze.

Obciążenie szczytu wieczornego może ponad trzykrotnie przekraczać obciążenie występujące w godzinach porannych i czas jego występowania pokrywa się ze szczytem obciążenia systemu elektroenergetycznego. Jest to zjawisko niekorzystne i należy dążyć do wprowadzenia taryf motywujących

odbiorców wiejskich do korzystania z energii elektrycznej poza okresem największego obciążenia.



Rys. 1. Tygodniowa zmienność obciążenia mocą czynną wybranej wiejskiej stacji transformatorowej 15/0,4 kV

Fig. 1. Weekly variation in active power load of a selected 15/0.4 kV rural transformer station

Maksymalne dobowe obciążenie występuje zawsze w okresie szczytu wieczornego, a więc między godziną 17 a 21. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w poszczególnych dniach roboczych dobowe obciążenie szczytowe ma zbliżone wartości (tab. 1), natomiast w dniach świątecznych jego wartość jest niższa o prawie 10% od średniego obciążenia szczytowego w danym tygodniu.

Tabela 1. Obciążenie szczytowe mocą czynną wybranej wiejskiej stacji transformatorowej 15/0,4 kV dla poszczególnych dni tygodnia stycznia

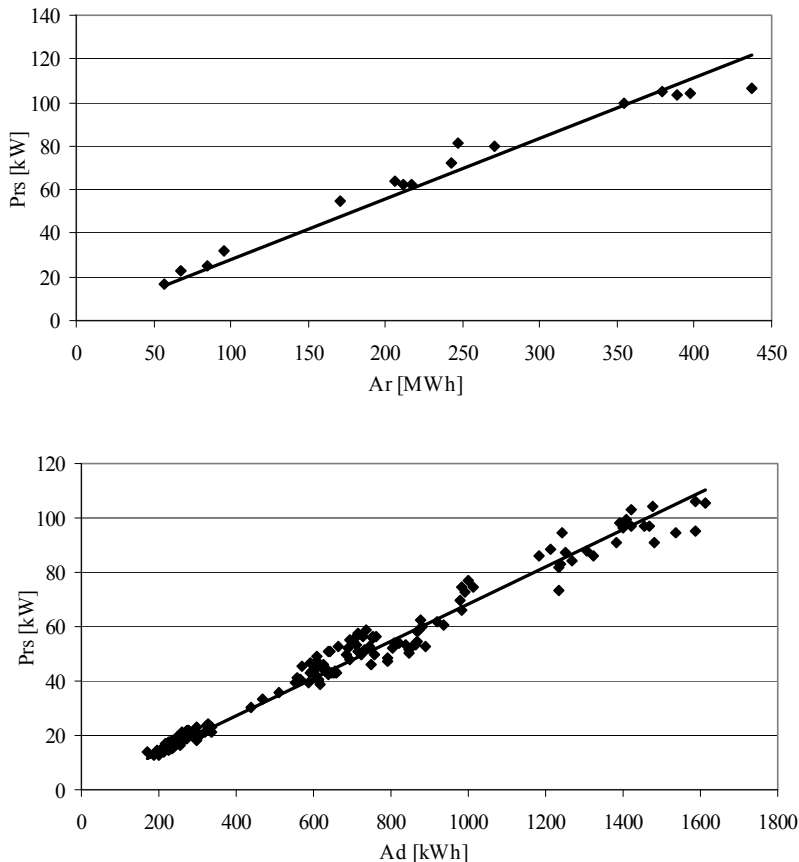
Table 1. Active power peak loads of selected 15/0.4 kV rural transformer station for particular days of the week in January

Dzień tygodnia	Obciążenie szczytowe (kW)	Odchylenie względne (%)
Poniedziałek	103	5,6
Wtorek	98	0,4
Środa	97	-0,6
Czwartek	97	-0,6
Piątek	99	1,4
Sobota	101	3,1
Niedziela	89	-9,3

Źródło: obliczenia własne autorów

Ponieważ roczne obciążenie szczytowe wiejskiej stacji transformatorowej występuje w dobie roboczej w okresie największego obciążenia systemu elektroenergetycznego, wydaje się, że jego wartość można wyznaczać nie tylko według wartości rocznego zużycia energii elektrycznej przez odbiorców zasilanych za pośrednictwem danej stacji, ale również na podstawie zużycia dobowego w dniu roboczym okresu zimowego.

Postępując się analizą regresji, zamodelowano roczne obciążenie szczytowe stacji transformatorowych, przedstawiając je raz w funkcji rocznego zużycia energii elektrycznej przez odbiorców zasilanych z danej stacji, a drugi raz w funkcji dobowego zużycia energii elektrycznej w dniu roboczym w okresie największego obciążenia systemu elektroenergetycznego. Odpowiednie zależności zapewniające dobre dopasowanie funkcji do wartości empirycznych przedstawia rysunek 2 i tabela 2.



Rys. 2. Zależność rocznego obciążenia szczytowego wiejskiej stacji transformatorowej 15/0,4 kV od zużycia energii elektrycznej przez odbiorców zasilanych ze stacji: a) rocznego, b) w roboczej dobie zimowej

Fig.2. Dependence of annual peak load of a 15/0.4 kV rural transformer station on the consumption of electrical energy by customers supplied with energy through that station: a) annual, b) on a winter working day

Tabela 2. Modele rocznego obciążenia szczytowego wiejskich stacji transformatorowych 15/0,4 kV

Table 2. Models of annual peak loads for 15/0.4 kV rural transformer stations

Zmienna zależna	Zmienna niezależna	Formuła empiryczna	$R^2$
Roczne obciążenie szczytowe $P_{rs}$ (kW)	Roczne zużycie energii elektrycznej $A_r$ (MWh)	$P_{rs} = 0,277 \cdot A_r$	0,95
	Dobowe zużycie energii elektrycznej w dniu roboczym w szczycie obciążenia systemu $A_d$ (kWh)	$P_{rs} = 0,068 \cdot A_d$	0,97

Źródło: obliczenia własne autorów

Wysokie dopasowanie funkcji do danych empirycznych ( $R^2 > 0,9$ ) pozwala przypuszczać, że opracowane modele nadają się do praktycznego wykorzystania w prognozowaniu rocznego obciążenia szczytowego wiejskich stacji transformatorowych 15/0,4 kV. Przydatność opracowanych modeli do celów predykcyjnych sprawdzono poprzez wyznaczenie średnich absolutnych względnych błędów prognoz wygasłych [Dittman 2003], które są miarą dopuszczalności prognoz. W pierwszym przypadku średni błąd prognoz wygasłych wyniósł 8%, a w drugim 7%, co pozwala uznać wyznaczone prognozy za zadowalające [Zeliaś i in. 2004].

Jedna z najprostszych metod wyznaczania obciążenia szczytowego, chętnie stosowana w praktyce, polega na określaniu tego obciążenia na podstawie znajomości rocznego zużycia energii elektrycznej  $A_r$  i wartości rocznego czasu użytkowania mocy szczytowej  $T_s$ , z zależności:

$$P_{rs} = \frac{A_r}{T_s} \quad (1)$$

Problemem jest jednak właściwe oszacowanie wartości  $T_s$ , które ulegają wzrostowi z latami wraz ze zwiększaniem się gęstości powierzchniowej obciążeń [Marzecki 2005]. Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że średni czas użytkowania mocy szczytowej na obszarach wiejskich wynosi obecnie ok. 3200 godzin, przy współczynniku zmienności 0,17. Średni błąd prognozy wygasłej, wyznaczonej w oparciu o zależność 1 i przy przyjęciu  $T_s = 3200$  h, kształtuje się na poziomie 12% i nie pozwala uznać takiej prognozy za dopuszczalną [Zeliaś i in. 2004].

## Podsumowanie

Wobec ograniczonych możliwości wykonywania pomiarów obciążeń w sieciach niskiego, poszukuje się metod wyznaczania obciążeń na podstawie dostępnych, skorelowanych z mocą, wielkości, do których zalicza się zużycie energii elektrycznej, preferując przy tym metody proste i tanie.

Przedstawiono modele regresyjne wiążące roczne obciążenie szczytowe wiejskich stacji transformatorowych 15/0,4 kV ze zużyciem energii elektrycznej przez odbiorców zasilanych za ich pośrednictwem, zarówno rocznym jak i dobowym, nadające się do praktycznego wykorzystania przy podejmowaniu decyzji związanych z eksploatacją i rozwojem wiejskich sieci niskiego napięcia. Metodę tę cechuje prostota obliczeń, a prognozy obciążeń obliczone w oparciu o przedstawione modele można uznać za zadowalające.

### **Bibliografia**

- Dittman P. 2003. Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Oficyna Ekonomiczna, Kraków
- Marzecki J. 2001. Rozdzielcze sieci elektroenergetyczne. WN PWN, Warszawa
- Marzecki J. 2005. Wybrane zagadnienia z problematyki terenowych sieci elektroenergetycznych. Przegląd Elektrotechniczny, 1: 62-67
- Trojanowska M. 2003. Wyznaczanie obciążeń wiejskich sieci niskiego napięcia. Inżynieria Rolnicza, 3: 359-365
- Zaleski W. 1998. Zastosowanie regresji rozmytej i regresji tradycyjnej na przykładzie modelowania obciążeń w miejskich sieciach rozdzielczych. IV Sympozjum nt. Metody matematyczne w elektroenergetyce. Zakopane, ss. 567-576
- Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S. 2004. Prognozowanie ekonomiczne. Teoria. Przykłady. Zadania. WN PWN, Warszawa

*Recenzent: Andrzej Chochowski*