

Ryszard FRĄCKOWIAK*
Tomasz GAŁAN**

CHARAKTERYSTYCZNE CECHY KRZYWYCH OBCIĄŻENIA ODBIORCÓW ZALICZANYCH DO GOSPODARSTW DOMOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki analizy krzywych obciążenia odbiorców zasilanych z sieci niskiego napięcia i zaliczanych do grupy gospodarstw domowych. W badaniach oceniono wpływ czasu zachodu słońca oraz temperatury powietrza na krzywe obciążenia elektrycznego i na tej podstawie określono specyficzne cechy grafików wydzielonych grup odbiorców. Opracowano także odpowiednie modele uwzględniające wpływ badanych czynników na pobór energii elektrycznej.

1. WSTĘP

Podstawę do prognozowania sprzedaży energii elektrycznej, a zarazem tworzenia odpowiednich taryf energii elektrycznej, stanowią dane z pomiarów zużycia energii zarejestrowane w poprzednich latach [1].

W artykule zostaną przedstawione wyniki badań obciążenia elektrycznego wybranych grup indywidualnych odbiorców zaliczanych do gospodarstw domowych. Jako kryterium wydzielenia grup przyjęto sposób wykorzystywania energii elektrycznej oraz lokalizację odbiorcy. Przedstawiono podstawowe parametry grafików oraz wpływ czynników zewnętrznych na przebieg i wartości obciążenia. Badania pozwoliły także na opracowanie modeli odwzorowujących zależność pobieranej mocy (energii) od czasu zachodu słońca (T_z) i temperatury (ϑ) – dla grup odbiorców, których obciążenie wyraźnie zależy od tych czynników.

2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH GRUP ODBIORCÓW

Podstawę do analizy stanowiły przebiegi obciążeń 250 odbiorców energii elektrycznej, rozliczanych według taryfy G, zasilanych z sieci niskiego napięcia i zamieszkujących tereny województwa wielkopolskiego [2].

Ogólną charakterystykę grup odbiorców objętych badaniami z uwzględnieniem wydzielonych cech przedstawiono w tabeli 1.

* Politechnika Poznańska.

** ENEA Operator Sp. z o.o.

Tabela 1. Charakterystyczne cechy wydzielonych grup odbiorców

Grupa taryfowa oraz rodzaj odbiorcy	Cechy odbiorców		Średni/a w grupie			Liczba osób w lokalu	Symbol grupy
	Posiada podgrzewacz elektryczny wody	Posiada ogrzewanie elektryczne	Liczba faz zasilania	Stopień uzbrojenia w urządzenia elektryczne	Powierzchnia lokalu [m ²]		
M – Miejski W – Wiejski	NIE	NIE	1	Niski	50-75	do 5	G11 M1
	TAK	NIE	1	Średni	50-75	do 5	G11 M2
G11 W	NIE	NIE	1	Średni	75-100	5 do 10	G11 W1
	TAK	NIE	3	Wysoki	75-100	5 do 10	G11 W2
G12 M	NIE	NIE	1	Średni	25-50	do 5	G12 M1
	TAK	NIE	1	Średni	50-75	do 5	G12 M2
	TAK	TAK	3	Wysoki	75-100	5 do 10	G12 M3

W tabeli 2 zestawiono charakterystyczne parametry przebiegu rocznego dla badanych grup odbiorców: A_r – roczne zużycie energii, P_{\max} – zarejestrowana wartość maksymalna mocy czynnej, T_s – czas użytkowania mocy szczytowej.

Tabela 2. Charakterystyczne parametry przebiegu rocznego

Grupa odbiorców	P_{\max} kW/odbiorcę	A_r kWh/odbiorcę	T_s h
G11 M1	0,74	2536	3450
G11 W1	0,84	2715	3251
G11 M2	2,24	5376	2400
G11 W2	2,84	6390	2250
G12 M1	1,37	5259	3836
G12 M2	1,97	6841	3471
G12 M3	4,09	10503	2568

Mniejsze wartości parametru T_s wykazują odbiorcy wykorzystujący energię elektryczną do celów grzewczych. Ponadto odbiorcy miejski wykazują także mniejsze wartości T_s niż odbiorcy wiejski o podobnych cechach.

3. WPŁYW CZYNNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH

3.1. Zakres badań

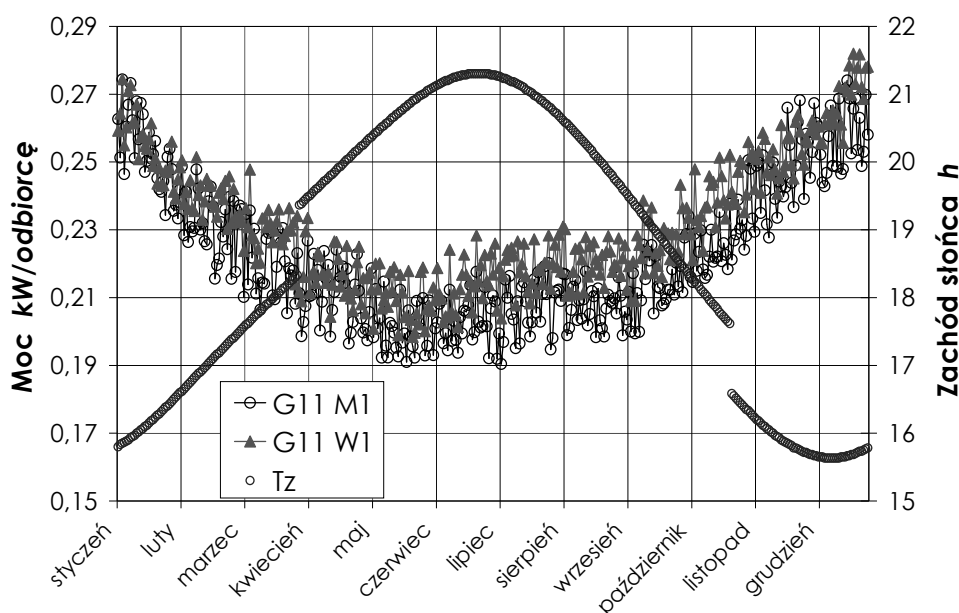
Przebieg i parametry obciążenia odbiorców energii elektrycznej zależą od wielu czynników charakteryzujących samego odbiorcę oraz warunki zewnętrzne [3].

W przeprowadzonych badaniach skupiono się głównie na określeniu wpływu wschodu i zachodu słońca oraz temperatury powietrza. Ponieważ zjawiska wschodu i zachodu słońca wykazują bardzo dużą zależnością liniową, w badaniach

ograniczono się tylko do analizy wpływu zachodu słońca na kształt oraz wartości obciążenia elektrycznego odbiorców. Ponadto przeprowadzone badania wykazały także liniową zależność średniomiesięcznych wartości ϑ oraz czasu T_z [4].

3.2. Odbiorcy z grupy taryfowej G11

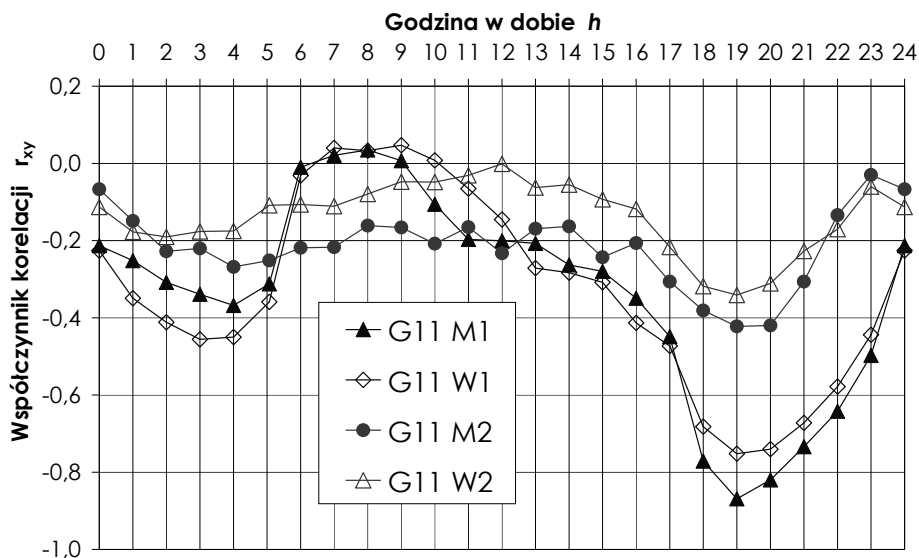
U odbiorców, którzy nie wykorzystują energii na cele grzewcze (G11 M1 oraz G11 W1), zauważa się silniejszą zależność dobowych zmian obciążenia elektrycznego w ciągu roku od zmian T_z , niż w przypadku pozostałych grup odbiorców rozliczających się według taryfy G11 [3] – rys. 1.



Rys. 1. Roczna zmienność dobowego obciążenia oraz czasu zachodu słońca w 2004 roku u odbiorców z grupy z grupy G11 M1 oraz G11 W1

Powyższy wniosek potwierdzają wyniki badań współczynnika korelacji – rys. 2.

Pewien nieduży wpływ na krzywe obciążenia odbiorców należących do grup G11M2 i G11W2 ma temperatura powietrza. W miesiącach zimowych, w których średnia temperatura jest mniejsza niż 10°C , zależność obciążenia od temperatury powietrza jest silniejsza.



Rys. 2. Zmienność współczynnika korelacji między obciążeniem w poszczególnych godzinach doby a czasem zachodu słońca, dla odbiorców z grupy G11 (w 2006 roku)

3.3. Odbiorcy z grupy taryfowej G12

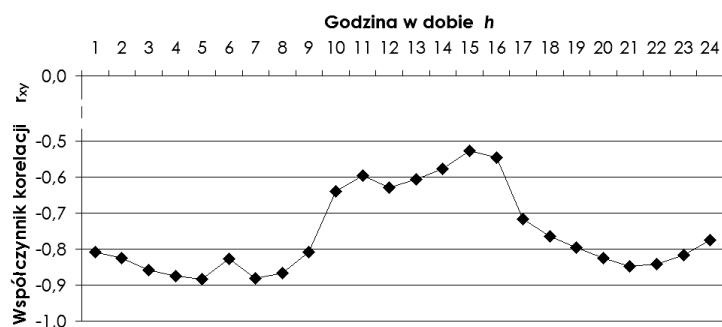
Istotny wpływ na przebieg obciążenia odbiorców zaliczanych do grupy G12 ma temperatura. Pewien zauważalny wpływ, u odbiorców z grupy G12 M1, w godzinach obowiązywania strefy z droższą ceną energii, ma także czas zachodu słońca. Powyższy wniosek potwierdza analiza współczynnika korelacji pomiędzy pobieraną mocą czynną a czasem zachodu słońca T_z – rys. 3.

Duże wartości mocy urządzeń grzewczych (w porównaniu z wartościami mocy zainstalowanej w gospodarstwie na cele oświetleniowe) powodują to, iż w przypadku odbiorców wykorzystujących energię elektryczną na cele grzewcze (G12 M2 oraz G12 M3) duży wpływ na grafik obciążenia ma temperatura powietrza – rys. 4.

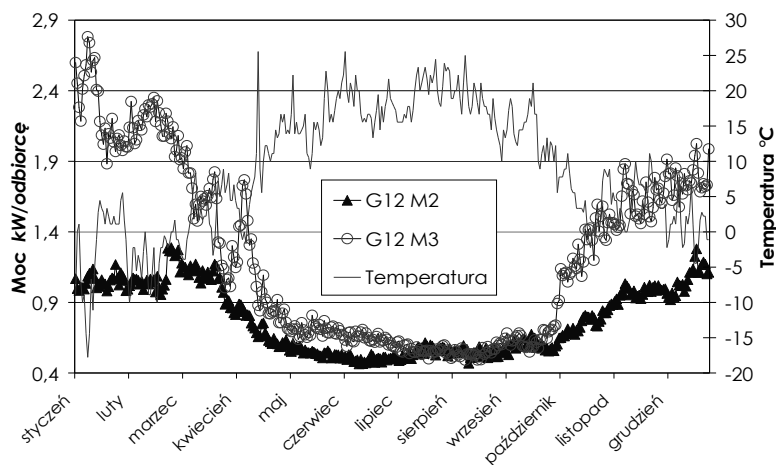
Wpływ temperatury na przebieg pobieranej mocy najwyraźniej jest zauważalny u odbiorców z grupy G12 M3, którzy charakteryzują się największymi, spośród badanych grup odbiorców, wartościami pobieranej mocy – wartość współczynnika korelacji pomiędzy analizowanymi wielkościami dla całego roku przyjmuje największą wartość i wynosi $r_{xy}=-0,918$, natomiast dla G12 M2 $r_{xy}=-0,863$.

Powyższe wnioski potwierdza badanie zmienności współczynnika korelacji pomiędzy wartością średnią temperatury, a mocą średnią w dobie – rys. 5.

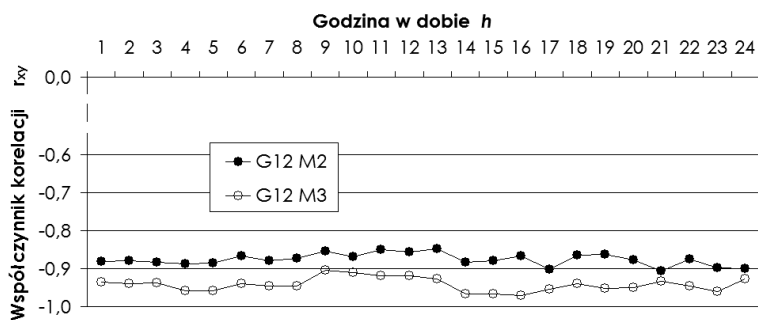
Duża wartość współczynnika korelacji, utrzymująca się w wszystkich godzinach doby, wskazuje na silny wpływ temperatury w całej dobie u badanych grup odbiorców (zarówno w strefie z droższą jak i tańszą ceną energii).



Rys. 3. Zależność współczynnika korelacji między obciążeniem w poszczególnych godzinach doby a czasem zachodu słońca, dla odbiorców z grupy G12 M1



Rys. 4. Roczna zmienność obciążenia średniodobowego obciążenia oraz wartości średniej w dobie temperatury w 2008 roku dla odbiorców z grup G12 M2 oraz G12 M3



Rys. 5. Zależność współczynnika korelacji między obciążeniem w poszczególnych godzinach doby a temperaturą otoczenia, dla odbiorców z grupy G12 M2 oraz G12 M3

3.4. Podsumowanie

Ocenę wpływu badanych czynników przeprowadzono zgodnie z skalą Guilford'a [5].

Tabela 4. Wpływ czynników zewnętrznych na obciążenie odbiorców z grupy taryfowej G11

Grupa	T_z	ϑ
G11 M1	silny	brak
G11 W1	silny	brak
G11 M2	średni*	słaby**
G11 W2	średni*	słaby**

*- dla $\vartheta > 10$ °C, **- dla $\vartheta < 10$ °C

Tabela 5. Wpływ czynników zewnętrznych na obciążenie odbiorców z grupy taryfowej G12

Grupa	T_z			Θ		
	Doba	SI*	SII**	Doba	SI*	SII*
G12 M1	bardzo słaby	średni***	brak	średni	słaby	silny
G12 M2	brak	brak	brak	silny	silny	silny
G12 M3	brak	brak	brak	bardzo silny	bardzo silny	bardzo silny

*-strefa z droższą ceną energii, **-strefa z tańszą ceną energii,
***-popołudniowa strefa z droższą ceną energii

4. MODELE

Badania pozwoliły na opracowanie modeli, odwzorowujących wpływ T_z i ϑ na zużywaną energię (pobieraną moc) przez odbiorców należących do badanych grup.

Zależności wartości mocy od czasu zachodu słońca, wyznaczoną na podstawie wartości średniomiesięcznych, dla odbiorców należących do grup G11 M1 oraz G11 W1 wykazują charakter liniowy:

$$\begin{aligned} - \text{ G11 M1:} & & P_{m\ sr} &= 0,61 - 0,02 \cdot T_z & (1) \\ & & & (R^2=0,98) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ G11 W1:} & & P_{m\ sr} &= 0,65 - 0,02 \cdot T_z & (2) \\ & & & (R^2=0,98) & \end{aligned}$$

gdzie: $T_z \in (15^{40} \div 21^{14})$.

U pozostałych grup odbiorców, rozliczających się według taryfy G11 wpływ T_z na krzywą obciążenia elektrycznego jest wyraźnie słabszy. Wpływ zachodu słońca na wartości obciążenia elektrycznego u odbiorców z grup G11 M2 oraz G11 W2 jest najbardziej wyraźny w okresie letnim (w miesiącach IV-XI). Zależność tą można przedstawić za pomocą funkcji liniowej:

$$\begin{aligned} \text{- dla odbiorców z G11 M2 (IV-IX):} \quad & P_{m \text{ } \acute{s}r} = 1,5980 - 0,057 \cdot T_z \quad (3) \\ & (R^2=0,94) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- dla odbiorców z G11 W2 (IV-IX):} \quad & P_{m \text{ } \acute{s}r} = 1,8242 - 0,0316 \cdot T_z \quad (4) \\ & (R^2=0,87) \end{aligned}$$

gdzie: $T_z \in (20^{17} \div 21^{14})$.

W pozostałej części roku, u odbiorców z grup G11 M2 oraz G11 W2 należy się liczyć ze znacznym wpływem temperatury. Odpowiednią zależność, wyznaczoną dla miesięcy X-III, w których wartość średnia temperatury jest mniejsza od 10°C można przedstawić za pomocą funkcji liniowej (o wysokim stopniu dopasowania) o następującej postaci:

$$\begin{aligned} \text{- dla odbiorców z G11 M2:} \quad & P_{m \text{ } \acute{s}r} = 0,8938 - 0,0384 \cdot \mathcal{G}_{\acute{s}rm} \quad (5) \\ & (R^2=0,9961) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- dla odbiorców z grupy G11 W2:} \quad & P_{m \text{ } \acute{s}r} = 1,2167 - 0,0143 \cdot \mathcal{G}_{\acute{s}rm} \quad (6) \\ & (R^2=0,9935) \end{aligned}$$

gdzie: $\mathcal{G}_{\acute{s}rm} \in (-3,85; +7,32)^\circ\text{C}$ – dla 2008 roku.

Najwyraźniejszy wpływ temperatury jest zauważalny u odbiorców G12 M3, w obu strefach rozliczeniowych (w strefie z droższą ceną energii - *SI* i z tańszą ceną energii - *SII*). Zależność tą można przedstawić za pomocą funkcji:

$$\text{- dla } SI \rightarrow E_{m \text{ } \acute{s}r} = -0,7482 \cdot \mathcal{G}_{m \text{ } \acute{s}r} + 21,232 \quad (7)$$

$$\text{- dla } SII \rightarrow E_{m \text{ } \acute{s}r} = -0,7976 \cdot \mathcal{G}_{m \text{ } \acute{s}r} + 23,867 \quad (8)$$

Dla odbiorców z grupy G11 M2 powyższą zależność można opisać wzorami:

$$\text{- dla: } SI \rightarrow E_{m \text{ } \acute{s}r} = -0,3175 \cdot \mathcal{G}_{m \text{ } \acute{s}r} + 13,528 \quad (9)$$

$$\text{- dla } SII \rightarrow E_{m \text{ } \acute{s}r} = -0,3112 \cdot \mathcal{G}_{m \text{ } \acute{s}r} + 10,623 \quad (10)$$

gdzie: $\mathcal{G}_{\acute{s}rm} \in (-3,85; +7,32)^\circ\text{C}$ – dla 2008 roku.

5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły określić charakterystyczne cechy wydzielonych grup odbiorców zaliczanych do gospodarstw domowych.

U odbiorców rozliczających się według taryfy G11 istotnym czynnikiem oddziaływującym na kształt i wartości grafiku obciążenia jest czas zachodu słońca. Natomiast na pobór mocy przez odbiorców zaliczanych do grupy G12 dominujący wpływ ma temperatura. W krzywych obciążenia odbiorców z grupy G11 można się dopatrzeć pewnego wpływu temperatury (w szczególności w grupach G11 M2 oraz G11 M2), a w grafikach obciążenia odbiorców z grupy G12 M1 niedużego wpływu czasu zachodu słońca.

Opracowane modele i wyniki badań dla kolejnych lat wykazują powtarzalność i mogą być pomocne przy szacowaniu obciążenia elektrycznego wydzielonych grup odbiorców przy uwzględnieniu wpływu warunków zewnętrznych.

LITERATURA

- [1] K. Majka, Bilansowanie zapotrzebowania godzinnej energii elektrycznej przez odbiorców z wykorzystaniem profili obciążeń, *Energetyka*, Czerwiec 2006, s. 410-415.
- [2] Opracowanie PTPiREE, Badanie obciążeń i budowa katalogu charakterystyk odbiorców energii elektrycznej, Warszawa 2000 r.
- [3] R. Frąckowiak, T. Gałan, Wpływ wybranych czynników charakteryzujących odbiorcę i warunki zewnętrzne na krzywe obciążenia odbiorców grupy G11, *Materiały konferencyjne – Aktualne Problemy w Elektroenergetyce 2007*, Jurata 2007.
- [4] R. Frąckowiak, T. Gałan, Krzywe obciążenia elektrycznego odbiorców typu gospodarstwa domowe rozliczane według taryfy G12, *Przegląd Elektrotechniczny*, Czerwiec 2009.
- [5] J. Koronacki, J. Mielniczuk: *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, WNT, Warszawa 2006.

SPECIFIC FEATURES OF LOAD CURVES FOR THE HOUSE-HOLD TYPE CONSUMERS

In the paper, the results of analysis of the load curves for the household-type consumers fed from the LV electric power network are presented. In the study, the influence of the sunset time and ambient temperature on the electric load curves has been assessed and, consequently, then the specific features of the graphs for the allocated consumer groups have been defined. Also, suitable models considering the impact of the observed factors on the electrical energy consumption have been developed.