

# Electric Load in the G12 Tariff for Consumers Assigned to the PTPIREE C-profile

## Authors

Ryszard Frąckowiak  
Tomasz Gałań

## Keywords

load curves, C-profile, modeling

## Abstract

In the paper, the results of analysis of the load curves for individual consumers assigned to the C-type standard profile in the G12 tariff zone and subzones are presented. On this basis, the C-profile study has been carried out for selected years. Also, models showing the influence of the air temperature on the consumed energy quotes for the distinctive consumer groups have been developed. Conclusions on the development and application of the standard profile for consumers which use the electrical energy for heating purposes (rooms and tap water) have been drawn.

**DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014304**

## 1. Introduction

A very important issue in the Polish electricity market, in light of the changes taking place since the late 1990s [1], is the collection of detailed information on electricity consumption of individual consumers, supplied at different voltage levels [2].

Knowledge of load schedules has become the basis for electricity sales forecasting and pricing. A business entity acting as a Distribution System Operator (DSO), on the basis of aggregated historical details of measurements made at reference customers (sample of individual customers, who have been subject to load variability measurements), develops electricity consumption profiles that reflect the average energy consumption in each hour of the day. Typically the profiles are drawn up based on the previous year's data. Based on standard profiles determined this way, the DSO can estimate the total electricity consumed by customers, with which it has signed distribution agreements (e.g. customers in the same tariff group). If a customer does not maintain a metering and billing system, the DSO assigns each end customer an appropriate standard load profile, according to the tariff group of the distribution services provided [3].

Standard load profiling based on full-year electrical load records of individual customers requires high precision and accuracy in the customer characterization, and the application of relevant profiling criteria (selection of reference customers for the resultant profile development).

## 2. C type standard profile characteristics

### 2.1. General notes

Extensive research conducted since 2002 by PTPIREE Polish Power Transmission and Distribution Association has produced a directory of electricity consumer characteristics, and on this basis the so-called standard profiles.

For households (domestic and municipal customers) powered at low voltage, PTPIREE has developed four standard profiles. They differ by tariff group and use of electricity. The profiles are listed in Tab. 1.

Profile name	Electricity consumer profile classification	
	Tariff group	Features
Profile A	G11	Customers having single-time zone meters
Profile B	G12	Customers without electric heating
Profile C	G12	Customers with electric heating other than dynamic
Profile D	G12	Customers with dynamic electric heating

Tab. 1. PTPIREE standard profiles of domestic and municipal customers

Billing zones	S I		S II	
	S Ia	S Ib	S IIa	S IIb
Sub-zone denomination				
Time slot	6–13	15–22	13–15	22–6

Tab. 2. Denominations of sub-zones selected in G12 tariff billing zones

The most generic is profile A. The only selection criterion is tariff group – G11. Profile B, C and D have been developed for two-time zone customers (tariff G12). In these profiles, the main selection criterion is the use of electricity for heating. Profile B is for customers not using electric heating, and profiles C and D are for those using electric heating of premises and water.

Customers in tariff group G12 are billed in two zones: S I – more expensive, and S II – cheaper. Tab. 2 lists denominations adopted in the research for selected sub-zones, and their time slots.

## 2.2. Averaged daily waveforms – profile C

The remainder of this paper focuses on the examination of profile C, taking into account its issues for four consecutive years (2007–2010). In each year profile C consists of electrical load waveforms of ca. 60 to ca. 80 individual electricity consumers.

Preliminary analysis of the profile for these years showed differences between the resultant electrical load schedules. Fig. 1 shows the yearly average daily waveforms of profile C, identified for the analysed years.

Profile C load curves feature load variability typical for two-zone billed consumers. Consumer use in their households electrical devices for heating domestic water, such as electric heaters and boilers, as well as for room heating, such as radiators, convectors with forced and natural air flow, and oil heaters. Each of these electrical heating appliances has a different heating specificity and power consumption.

Fig. 2 shows diurnal variations of monthly average electric loads for profile C 2009, identified in subsequent months of the year. Electrical loads in working days were taken into account.

The load schedules show a noticeable increase in power consumption in zone S II. In the winter power consumption in the cheaper tariff zone is even more than two times higher than the summer consumption in the zone. The main reason is the use of the zone especially for heating purposes. Moreover, in the winter (November – February) a temporary increase was noted in electricity consumption right at the end of the cheaper tariff zone (5 am – 6 am). This increase is due to the use of heating

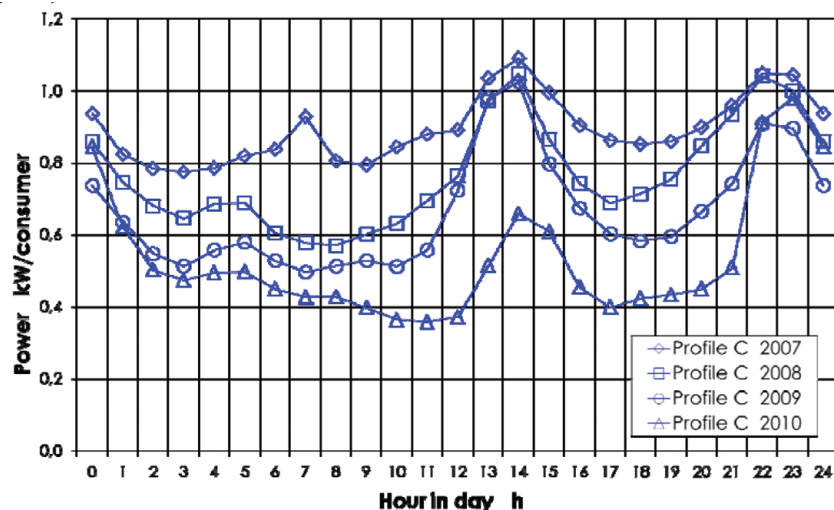


Fig. 1. Diurnal variations of yearly average loads in subsequent years of type C standard profile (2007–2010)

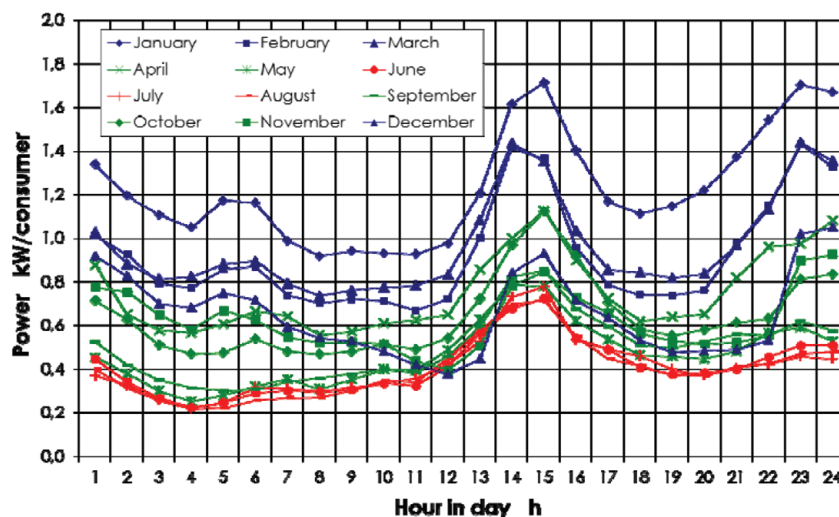


Fig. 2. Variability of average daily load in each month of the year for profile C 2009

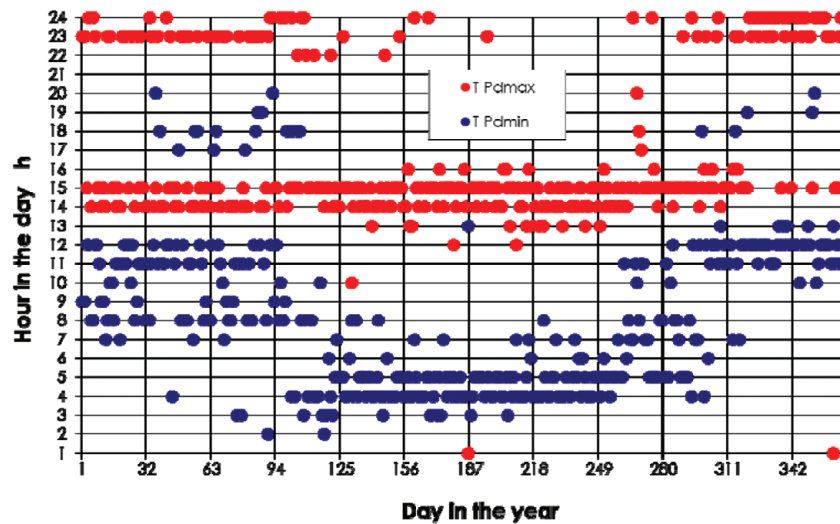


Fig. 3. Daily extreme power occurrences, profile C 2009

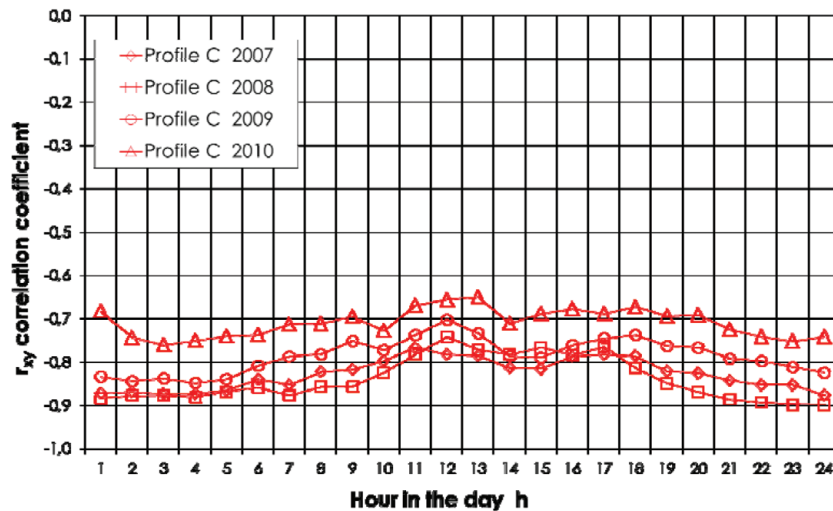


Fig. 4. Daily variability of correlation between power intakes in each hour and the daily average air temperature, profile C 2007–2010

appliances in the morning at the end of zone S IIb (turning on devices for domestic water and room heating).

Fig. 3 shows an example of the annual variability of daily maximum power ( $T_{Pdmax}$ ) daily minimum power ( $T_{Pdmin}$ ) occurrences for the same type C profile.

In profile C the daily maximum power  $T_{Pdmax}$  occurrences fell in zone S II, in summer and winter alike. However, in the summer it occurs in the noon sub-zone with cheaper tariffs (S IIa). This may be due to intense energy use for ventilation and air conditioning. In the summer, the daily minimum power typically occurs at 4 am – 5 am, while in the winter in the more expensive morning sub-zone (S Ia). This may be due to household use of electrical heating devices at the end of zone S IIb, as has already been pointed out above. The minimum load occurs in the later hours.

### 2.3. External impacts

Individual customer's electrical load characteristics depend on the customer's essential features, such as electricity tariff,

location, and household use of electricity. However, variability analysis of electrical load should also consider numerous external impacts, related to natural atmospheric and astronomical phenomena, that every customer's power intake is subject to. Each of these factors may have a different impact on the electrical load schedule. In addition, some of them are strictly defined (determined), some are random [4].

Detailed studies of the external impacts on electrical load schedules showed that customers in the G12 tariff group are mostly affected by air temperature ( $\theta$ ) [5]. They are insensitive to the time of sunset [6].

This strong correlation between the profile customers' power intake and air temperature was confirmed by analysis of Pearson correlation coefficient [7] (Fig. 4). Correlation coefficient  $r_x$  stays below  $-0.65$  throughout the day, which confirms the relevance of the temperature impact on type C profile schedules. Also noted is a slightly larger effect of temperature in the cheaper zone (S II) than in the rest of the day.

This strong air temperature impact on daily load distribution in profile C group varies slightly from year to year. This is due to the selection of reference consumers who use different electrical appliances, and differently use electricity for heating. They may have and use only an electric water heater, or only a space heating system, or they may use electricity for both heating applications simultaneously.

### 3. Electrical loads of individual consumers in profile C group

#### 3.1. Surveyed consumers characteristics

Results of the C type profile analysis were compared with results of analysis of load curves of two groups of tariff G12 customers. Analysed were records of electrical loads (active power intakes) of 104 individual electricity consumers, in 2003–2009. Surveyed were customers supplied at low voltage, and residing in urban areas of the Wielkopolskie Voivodeship. Measurement data was derived from a research project by PTPIREE Polish Power Transmission and Distribution Association [8]. Data was selected from records of household consumers, tariff G12 (domestic and municipal customers who do not conduct business), who have and use stationary electric heating devices in inhabited premises. Tab. 3 summarizes the most important common characteristics of the analysed consumer groups. For easy identification, they were assigned appropriate symbols.

#### 3.2. Comparative analysis

The variability analysis of yearly average daily load showed that both the electrical load schedule, as well as the power consumed by customers in groups G12 M2 and G12 M3, differ significantly (Fig. 5). In this figure also the load is mapped that corresponds to standard type C profile.

Daily load waveforms of the analysed consumer groups and type C profile in the summer is flattened, while in the winter the loads are several times higher than in the summer. In group G12 M3 differences in the summer and winter loads are significantly

Group symbol	Electrical domestic water heater	Electrical space heating
G12 M2	has	does not have
G12 M3	may have	has

Tab. 3. Selected characteristics of analysed consumer groups

larger than the same differences in group G12 M2 (significantly higher powers of space heating systems than of electric domestic water heaters).

Fig. 6 shows the daily variability averaged over two months: the summer (June – July) and winter (December – January) periods, identified for profile C – 2007 and groups G12 M2 and G12 M3 (2006).

The loads in the schedule for groups G12 M2 and G12 M3, and profile C, as well as the summer loads are very similar. In the summer these consumers use electricity mainly to heat running water (boilers, tankless water heaters). The loads in the winter schedule for the analysed groups and the profile are different. When consumers use electricity for space and water heating, these loads values differ significantly from those of consumers, who use electricity for domestic water heating only.

Similarity of the summer and winter load waveforms and values of consumers in group G12 M2 and profile C 2007 schedule indicates that the proportion of these consumers in the profile development was the greatest.

Detailed studies have shown that in the remaining years when profile C was developed the considered groups' shares varied. Therefore the selection of consumers for the standard profile development has a significant impact on the resultant schedule.

### 4. Electrical loads in zones – models

Fig. 7 shows an example of the relationship between the energy consumed in zones with more expensive and cheaper electricity by consumers in groups G12 M2 and G12 M3.

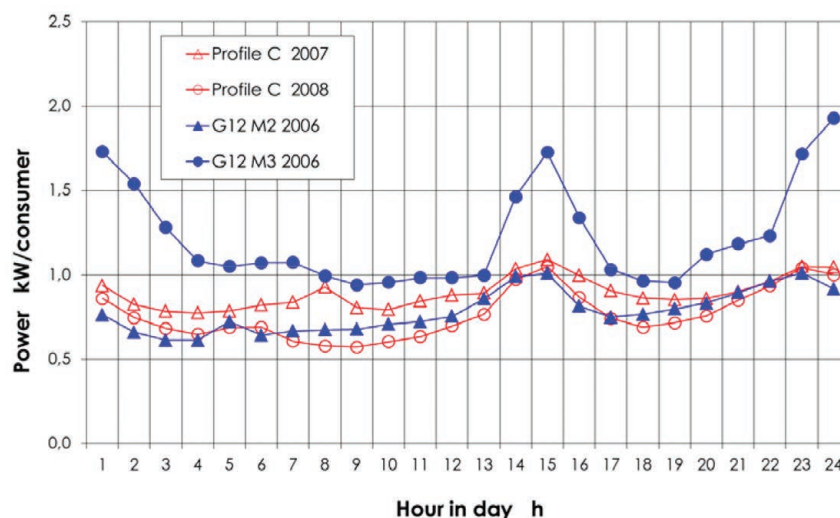


Fig. 5. Daily variations of yearly average loads for profiles C 2007 and C 2008, as well as G12 M2 and G12 M3 consumers (2006)

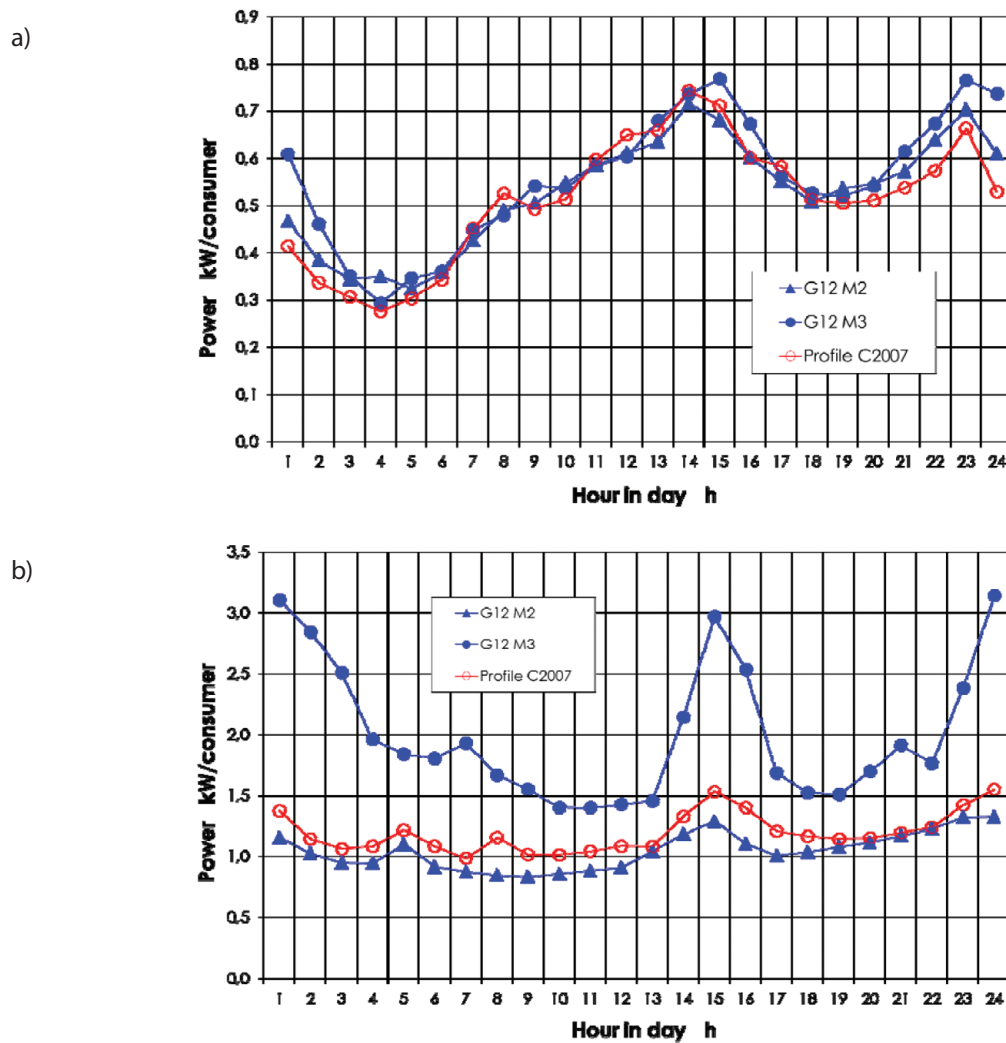


Fig. 6. Daily variation of average load in groups G12 M2 and G12 M3, as well as profile C 2007, identified in two months: a) summer, b) winter

Clear effect of air temperature on energy consumption is experienced when the average daily temperature is less than 15°C. Throughout the rest of the energy consumption remains approximately constant. During this period, the average energy consumption in zone S I exceeds that in zone S II. In contrast to group G12 M2, in group G12 M3 the temperature impact on power consumption is stronger than in zone S I. In addition, when the average daily air temperature falls below 5°C, loads in zone S II clearly prevail. This is due to consumers' more intensive use of heating appliances in this temperature range (winter period). High repeatability of the analysed relationships in subsequent years of the recording period had enabled identification of averaged forms of the linear function of the effect of temperature on energy consumed in tariff G11 zones (for  $\theta \leq 15^\circ\text{C}$ ):

for consumers in group G12 M2:

$$A_{SI}^{M2} = 12,98 - 0,290 \cdot \vartheta \quad (1)$$

$$A_{SII}^{M2} = 10,38 - 0,319 \cdot \vartheta \quad (2)$$

for consumers in group G12 M3:

$$A_{SI}^{M3} = 21,20 - 0,753 \cdot \vartheta \quad (3)$$

$$A_{SII}^{M3} = 22,9 - 1,065 \cdot \vartheta \quad (4)$$

Fig. 8 and 9 show the relationship between energy consumed in billing zones' sub-zones and air temperature, in groups G12 M2 and G12 M3.

Based on the presented relationships, averaged (over the entire recording period) linear dependencies were developed with the following forms (for  $\theta < 15^\circ\text{C}$ ):

for consumers in group G12 M2:

$$A_{SIa}^{M2} = 3,34 - 0,053 \cdot \vartheta \quad (5)$$

$$A_{SIb}^{M2} = 9,65 - 0,234 \cdot \vartheta \quad (6)$$



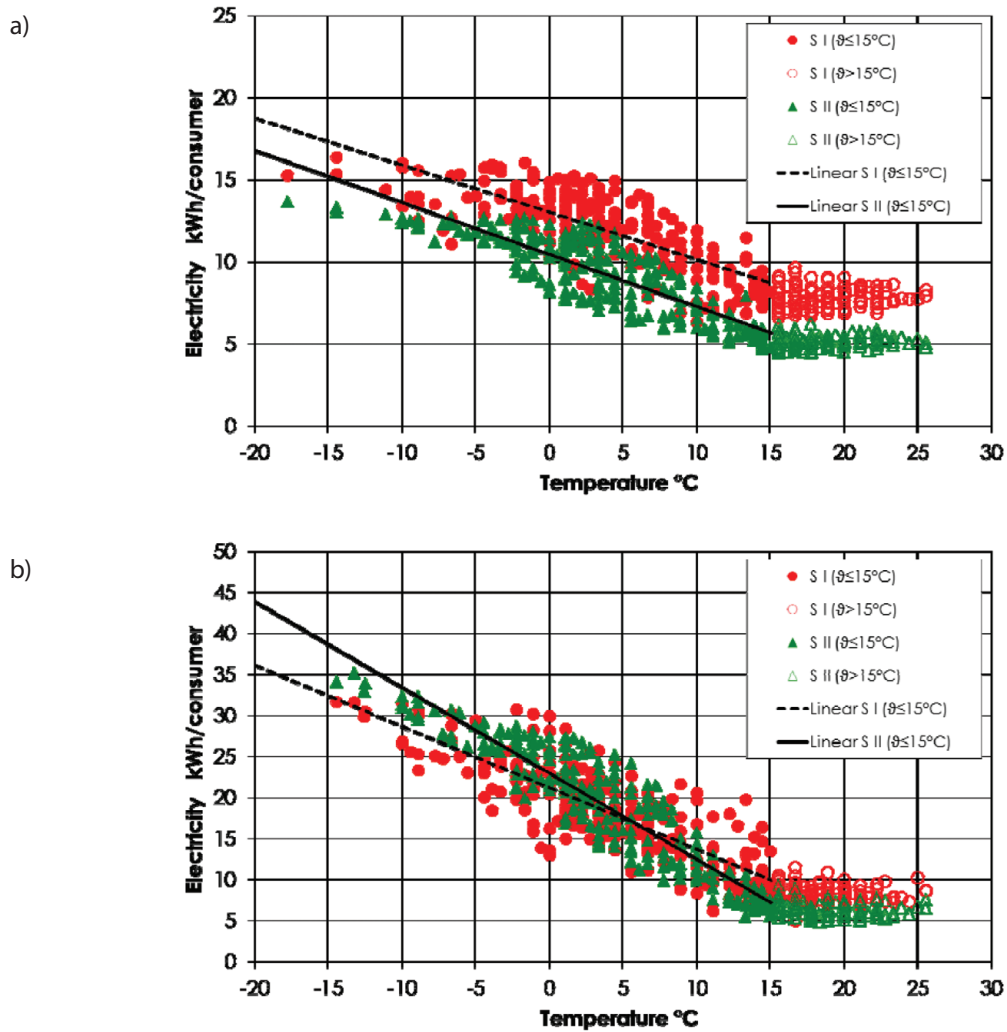


Fig. 7. Dependence on air temperature of energy consumed in zones S I and S II by consumers in groups: a) G12 M2 (2004), b) G12 M3 (2005)

$$A_{SIIa}^{M2} = 1,03 - 0,027 \cdot \vartheta$$

$$A_{SIIb}^{M2} = 9,38 - 0,289 \cdot \vartheta$$

for consumers in group G12 M3:

$$A_{SIIa}^{M3} = 4,83 - 0,151 \cdot \vartheta$$

$$A_{SIIb}^{M3} = 16,36 - 0,598 \cdot \vartheta$$

$$A_{SIIa}^{M3} = 2,49 - 0,114 \cdot \vartheta$$

$$A_{SIIb}^{M3} = 20,42 - 0,915 \cdot \vartheta$$

Stronger temperature impact in the more expensive zone is noticed in sub-zone S IIb in G12 M2 and G12 M3 groups alike. In the cheaper zone the electricity price effect is noticeable in the both analysed sub-zones. Consumers in group G12 M3 consume most electricity in the winter (at low air temperatures) in sub-zone S IIb.

- (7) The significant effect of temperature on the load of profile C customers indicates the need to consider this factor when evaluating the electricity consumption on the basis of standard profiles. It can be seen that an occurrence of an air temperature by 10°C lower than the temperature, at which data were recorded for the profile development, introduces relatively large errors. Relative errors calculated in relation to the load at  $\theta = 0^\circ\text{C}$ , significantly exceed 20% in all analysed sub-zones. The largest, ca. 45%, are the relative errors of G12 M3 loads in zone S II.

## (11) 5. Summary

- (12) The predominant external factor affecting the energy consumption by profile C consumers is the air temperature. The impact varies in different zones and sub-zones of tariff G12. The largest impact is on space heating loads in the zone with cheaper electricity. The impact of the sunset time on power intake (electricity consumption) in these groups of consumers can be considered negligible.

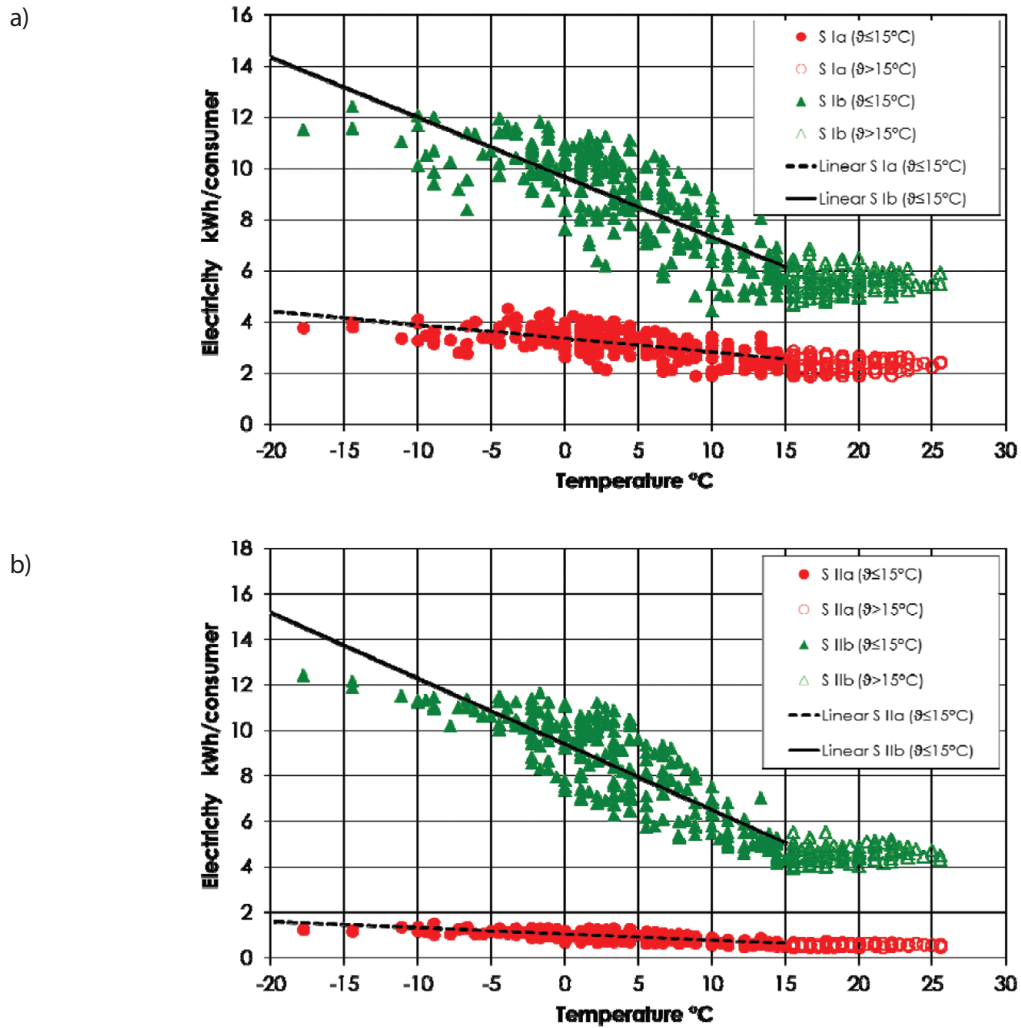


Fig. 8. Dependence on air temperature of energy consumed in billing zones' sub-zones by consumers in group G12 M2 (2004)

The accuracy of standard profile C based electrical load estimate may be significantly increased by taking into account changes in the temperature, using appropriately developed models.

The type C profile load waveforms developed by PTPIREE show differences in the subsequent years of their development. This was mainly due to the diversification of the individual consumers (reference consumers), measurement of which were used for the standard profiles to development. A certain randomness,

resulting from too general criteria of the consumer selection for the profile, can cause errors in the estimation of power intakes of the profiled consumers. The accuracy of the profile C based electrical load estimate may be increased by separating out of the profile the following two sub-profiles:

- C1 – consumers who use electricity to heat running water
- C2 – consumers who use electricity for space heating.

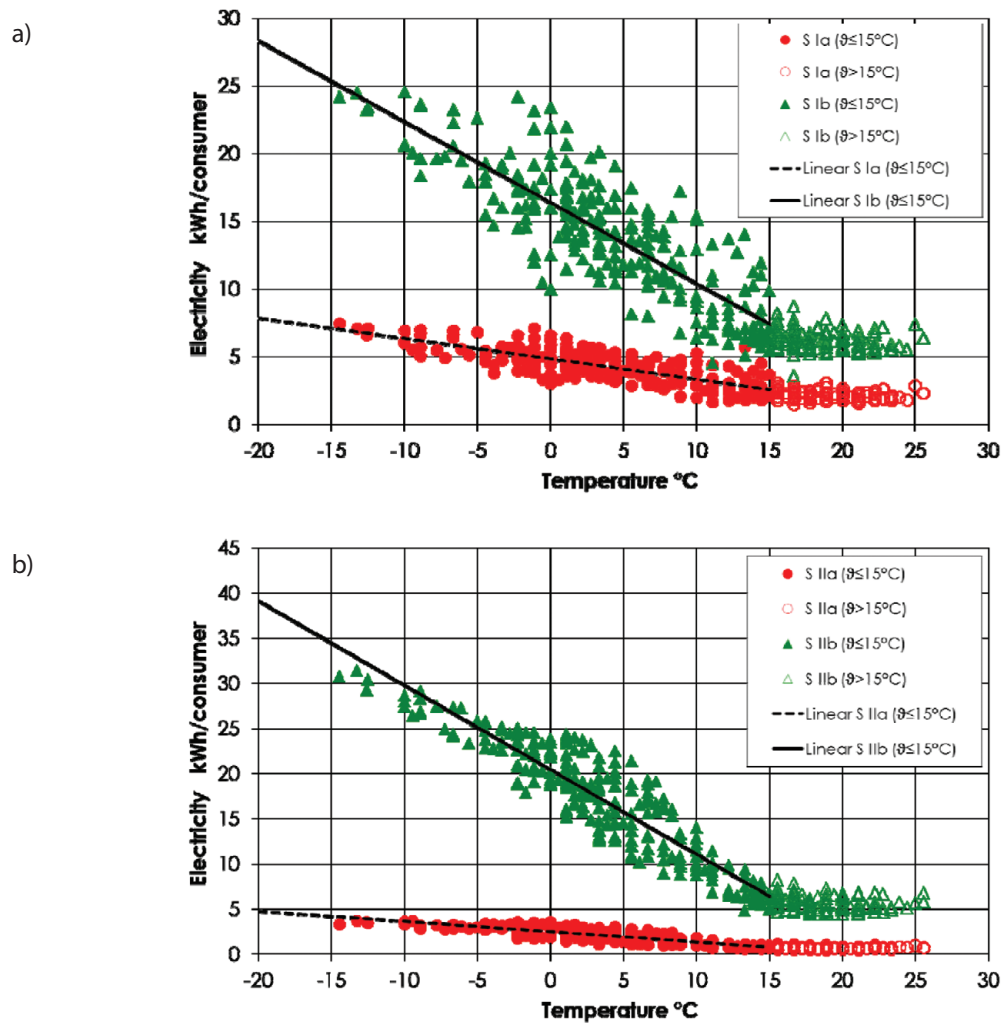


Fig. 9. Dependence on air temperature of energy consumed in billing zones' sub-zones by consumers in group G12 M3 (2005)

## REFERENCES

1. The Energy Law, J. of L. 1997, No. 54, Item 348, as currently amended, 10 April 1997.
2. Bieliński W., Typowe wykresy obciążeń elektroenergetycznych odbiorców [Typical charts of power consumer loads], Scientific-engineering conference "The Electricity Market", Nałęczów, Poland 1998.
3. Instrukcje Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, Enea SA [Enea SA Distribution Grid Code] [online], <http://www.operator.enea.pl> -Instrukcje Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej.
4. Frąckowiak R., Gałań T., Analiza profilu obciążenia odbiorców rozliczanych według taryfy G12 przy wykorzystaniu arkusza Excel [Analysis tariff G12 customers load profile using Excel spreadsheet], XIV Scientific Conference on Computer Applications in Electrical Engineering, Poznań 2009.
5. Frąckowiak R., Gałań T., Profile standardowe PTPIREE taryfy G w świetle badań obciążenia elektrycznego odbiorców indywidualnych [PTPIREE standard profiles for tariff G in the light of research of individual customers' electric loads], Rynek Energii 2012, issue 4.
6. Frąckowiak R., Gałań T., Krzywe obciążenia elektrycznego odbiorców typu gospodarstwa domowe rozliczane według taryfy G12 [Electrical load curves of tariff G12 households consumers], Przegląd Elektrotechniczny 2009, issue 10.
7. Starzyńska W., Statystyka praktyczna [Practical statistics], Warsaw 2000.
8. Research project of PTPIREE Polish Power Transmission and Distribution Association, the Polish Society Transmission and Distribution of Electricity, Badanie obciążeń i budowa katalogu charakterystyk odbiorców energii elektrycznej [Electricity consumers load study and development of a catalogue of characteristics], Poznań 2003.



---

### **Ryszard Frąckowiak**

Poznan University of Technology

e-mail: ryszard.frackowiak@put.poznan.pl

Graduated from the Faculty of Electrical Engineering at Poznan University of Technology (1976). At the same Faculty he received his doctor of engineering (1984) and habilitated doctor (1998) degrees. He started his professional career in 1977 at the Institute of Electrical Power Engineering. He now heads the Department of Switchgear and Electrical Installation at the Institute. He deals with issues related to analysis and modelling of power grid operating parameters, fault values in particular.

### **Tomasz Gałań**

Poznan University of Technology

e-mail: tomasz\_galan@wp.pl

Graduated from the Faculty of Electrical Engineering of Poznan University of Technology (2005), now working on his doctoral thesis on individual customers' electrical load curves. An employee of the Department of Planning and Development at Enea Operator sp. z o.o.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 41–49. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Obciążenie elektryczne w strefach taryfy G12 odbiorców zaliczanych do profilu typu C PTPiREE

**Autorzy**  
Ryszard Frąckowiak  
Tomasz Gałań

**Słowa kluczowe**  
obciążenie, profil C, modelowanie

### Streszczenie

W artykule autorzy przedstawili wyniki analizy krzywych obciążenia odbiorców indywidualnych, zaliczanych do profilu standardowego typu C w strefach i podstrefach taryfy G12. Pozwoliły one na przeprowadzenie analizy profilu C dla wybranych lat. Opracowano także modele charakteryzujące wpływ temperatury powietrza na wartości zużywanej energii dla wydzielonych grup odbiorców. Sformułowano wnioski dotyczące tworzenia oraz korzystania z profilu standardowego dla odbiorców wykorzystujących energię elektryczną do ogrzewania pomieszczeń oraz wody użytkowej.

### 1. Wstęp

Bardzo ważnym zagadnieniem na polskim rynku energii elektrycznej, w świetle przemian dokonujących się od końca lat 90. ubiegłego wieku [1], staje się pozyskanie szczegółowych informacji dotyczących konsumpcji energii elektrycznej przez odbiorców indywidualnych, zasilanych z różnych poziomów napięć [2].

Znajomość grafików obciążenia elektrycznego staje się podstawą prognozowania sprzedaży energii elektrycznej oraz tworzenia taryf dla energii elektrycznej. Podmiot gospodarczy pełniący funkcję operatora systemu dystrybucyjnego (OSD), na podstawie zagregowanych historycznych danych z pomiarów u odbiorców kontrolnych (wybranej grupy odbiorców indywidualnych, którzy zostali objęci pomiarami zmienności obciążenia), opracowuje profile zużycia energii elektrycznej, które odzwierciedlają średni pobór energii w każdej godzinie doby. Najczęściej przy opracowywaniu profili uwzględnia się dane z poprzedniego roku. Na podstawie wyznaczonych profili standardowych OSD może szacować sumaryczną wartość energii elektrycznej pobieraną przez odbiorców, z którymi ma podpisaną umowę dystrybucji (np. odbiorców rozliczających się w danej grupie taryfowej). Jeżeli odbiorca nie posiada układu pomiarowo-rozliczeniowego, OSD przydziela każdemu odbiorcy końcowemu odpowiedni, standardowy profil obciążenia, według grupy taryfowej usług dystrybucji energii świadczonych przez niego [3].

Tworzenie profili standardowych na podstawie całorocznej rejestracji obciążenia elektrycznego indywidualnych odbiorców wymaga dużej dokładności i rzetelności w charakteryzowaniu odbiorców oraz stosowania właściwych kryteriów wydzielenia profili (klasyfikacji odbiorców kontrolnych do opracowania grafiku wypadkowego – profilu).

### 2. Charakterystyka profilu standardowego typu C

#### 2.1. Uwagi ogólne

Szeroko zakrojone badania, prowadzone od 2002 roku przez Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPiREE), doprowadziły do utworzenia

Nazwa profilu	Klasyfikacja profilu odbiorcy energii elektrycznej	
	Grupa taryfowa	Cechy
Profil A	G11	Odbiorcy posiadający licznik jednostrefowy
Profil B	G12	Odbiorca bez ogrzewania elektrycznego
Profil C	G12	Odbiorca z ogrzewaniem elektrycznym innym niż dynamiczne
Profil D	G12	Odbiorca z dynamicznym ogrzewaniem elektrycznym

Tab. 1. Profile standardowe opracowywane przez PTPiREE dla odbiorców bytowo-komunalnych

katalogu charakterystyk odbiorców energii elektrycznej oraz na tej podstawie do wyznaczenia tzw. profili standardowych.

Dla grupy gospodarstw domowych (odbiorców bytowo-komunalnych), zasilanych po stronie niskiego napięcia, PTPiREE opracowało cztery profile standardowe. Różnią się one grupą taryfową oraz sposobem wykorzystania energii elektrycznej. Wykaz tych profili zestawiono w tab. 1.

Największym stopniem uogólnienia cechuje się profil A. Jedynym kryterium doboru odbiorców do profilu jest grupa taryfowa – G11. Profile B, C oraz D zostały opracowane dla odbiorców dwustrefowych (rozliczanych za energię elektryczną według taryfy G12). W tych profilach głównym kryterium doboru odbiorców był sposób wykorzystywania energii elektrycznej do celów grzewczych. Profil B przeznaczono dla odbiorców niekorzystających z ogrzewania elektrycznego, a profile C oraz D przeznaczono dla odbiorców korzystających z elektrycznego ogrzewania pomieszczeń oraz wody.

Odbiorcy z grupy taryfowej G12 rozliczają się z jej dostawcą w dwóch strefach: S I – z droższą oraz S II – z tańszą jednostkową ceną energii elektrycznej. W tab. 2 zestawiono przyjęte w badaniach oznaczenia wydzielonych podstref wraz z godzinami ich obowiązywania.

Strefy rozliczeniowe	S I		S II	
	S Ia	S Ib	S IIa	S IIb
Oznaczenie podstrefy				
Godziny obowiązywania	6–13	15–22	13–15	22–6

Tab. 2. Oznaczenia podstref wydzielonych w strefach rozliczeniowych taryfy G12

### 2.2. Uśrednione przebiegi dobowe – profil C

W dalszej części artykułu skoncentrowano się na badaniach profilu C, biorąc pod uwagę jego opracowania dla czterech kolejnych lat (2007–2010). Na profil C w poszczególnych latach składają się przebiegi obciążenia elektrycznego od ok. 60 do ok. 80 indywidualnych odbiorców energii elektrycznej.

Wstępna analiza tego profilu dla badanych lat wykazała różnice pomiędzy wypadkowymi grafikami obciążenia elektrycznego. Na rys. 1 przedstawione zostały średnioroczne przebiegi dobowe profilu C, opracowane dla badanych lat.

Krzywe obciążenia profilu C mają typową zmienność obciążenia odbiorcy rozliczającego się w dwustrefowo. Odbiorcy wykorzystują w gospodarstwie domowym elektryczne urządzenia służące zarówno do ogrzewania wody użytkowej – podgrzewacz elektryczny, bojler, jak i do ogrzewania pomieszczeń – promienniki, konwektory z wymuszonym oraz naturalnym obiegiem powietrza, a także grzejniki olejowe. Każde z tych elektrycznych urządzeń grzewczych charakteryzuje się inną specyfiką nagrzewania oraz wartością pobieranej mocy.

Na rys. 2 przedstawiono zmienności dobowe średniomiesięcznego obciążenia elektrycznego dla profilu C 2009, wyznaczone dla kolejnych miesięcy roku. Uwzględniono obciążenie elektryczne dla dni roboczych.

W grafikach obciążenia zauważalny jest wyraźny wzrost poborów mocy w strefie S II. W okresie zimowym wartości pobieranej mocy w strefie z tańszą ceną energii są nawet ponad dwa razy większe od poborów w tej strefie w okresie letnim. Głównym tego powodem jest wykorzystywanie tej strefy szczególnie do celów grzewczych.

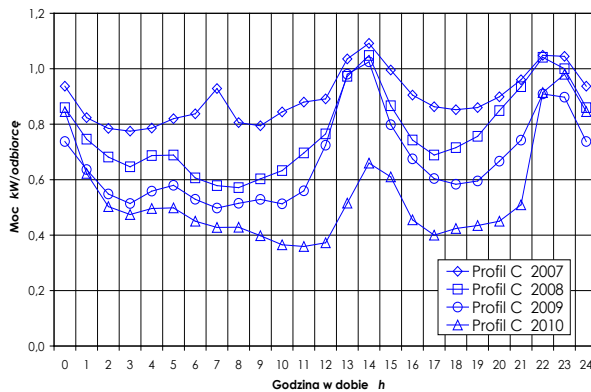
Ponadto w okresie zimowym (listopad – luty) zauważa się chwilowy wzrost poborów energii elektrycznej tuż pod koniec obowiązywania strefy z tańszą ceną energii (godz. 5–6). Wzrost ten spowodowany jest wykorzystaniem urządzeń grzewczych w godzinach porannych pod koniec obowiązywania strefy S IIb (załączenie urządzeń do podgrzewania wody użytkowej oraz dogrzewanie pomieszczeń).

Na rys. 3 przedstawiono przykładową zmienność roczną czasu występowania

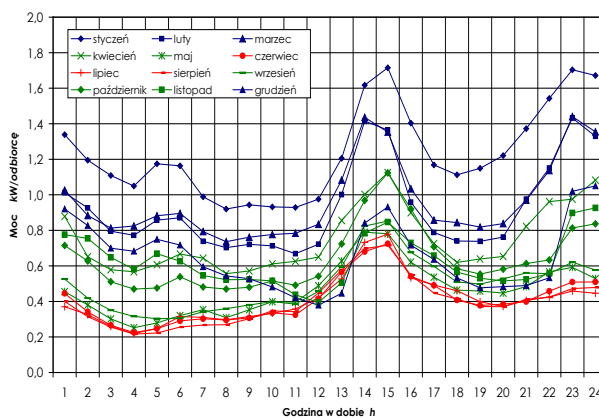
dobowej mocy maksymalnej ( $T_{P_{dmax}}$ ) oraz czasu występowania mocy minimalnej ( $T_{P_{dmin}}$ ) dla tego samego profilu typu C. Czas występowania dobowej mocy maksymalnej  $T_{P_{dmax}}$  dla profilu C przypada na strefę S II, zarówno w okresie letnim i zimowym. Przy czym w okresie letnim mieści się w godzinach obowiązywania południowej podstrefy z tańszą jednostkową ceną energii elektrycznej (S IIa). Może to być związane z intensywnym wykorzystaniem energii do celów wentylacyjnych

lub użytkowaniem elektrycznych urządzeń klimatyzacyjnych.

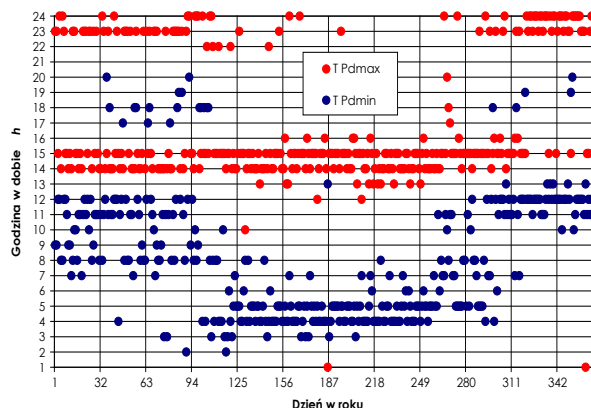
W okresie letnim wartości dobowych mocy minimalnych występują najczęściej w godz. 4–5, natomiast w okresie zimowym wartość minimalna przypada na poranną podstrefę z droższą ceną energii (S Ia). Sytuacja ta może być związana z wykorzystaniem elektrycznych urządzeń grzewczych w gospodarstwie pod koniec strefy S IIb, na co już wyżej zwrócono uwagę. Obciążenie minimalne ma miejsce w godzinach późniejszych.



Rys. 1. Zmienność dobowa średniorocznego obciążenia dla kolejnych lat obowiązywania profilu standardowego typu C (2007–2010)



Rys. 2. Zmienność średniego obciążenia w dobie dla poszczególnych miesięcy roku dla profilu C 2009



Rys. 3. Czasy występowania dobowych mocy ekstremalnych – profil C 2009

### 2.3. Wpływ czynników zewnętrznych

Przebieg obciążenia elektrycznego odbiorców indywidualnych zależy od istotnych cech opisujących odbiorcę, takich jak: posiadana taryfa, według której odbiorca rozlicza się za energię elektryczną z jej dostawcą, lokalizacja administracyjna, sposób wykorzystania energii elektrycznej w gospodarstwie domowym i inne.

Jednakże w analizie zmienności obciążenia elektrycznego należy uwzględnić także to, że na przebieg obciążenia każdego z odbiorców wpływa wiele czynników zewnętrznych, związanych z zachodzącymi w przyrodzie zjawiskami atmosferycznymi oraz astronomicznymi. Każdy z tych czynników może mieć inny wpływ na kształtowanie się grafiku obciążenia elektrycznego. Ponadto niektóre z nich mają charakter ściśle określony (zdeteterminowany), niektóre charakter losowy [4].

Szczegółowe badania wpływu czynników zewnętrznych na kształtowanie się grafików obciążenia elektrycznego wykazały, że u odbiorców z grupy taryfowej G12 najsilniejszy wpływ ma temperatura powietrza (θ) [5]. U tych odbiorców nie wykazano istotnego wpływu godziny zachodu słońca [6].

U odbiorców profilowych silną zależność pomiędzy wartościami pobieranej mocy a temperaturą powietrza potwierdza badanie współczynnika korelacji Pearsona [7] (rys. 4). Wartości  $r_{xy}$  mniejsze od  $-0,65$  utrzymują się przez całą dobę, co potwierdza wagę oddziaływania temperatury na grafiki profilowe typu C. Ponadto zauważa się nieco większy wpływ temperatury w strefie z tańszą ceną energii (S II) niż w pozostałej części doby.

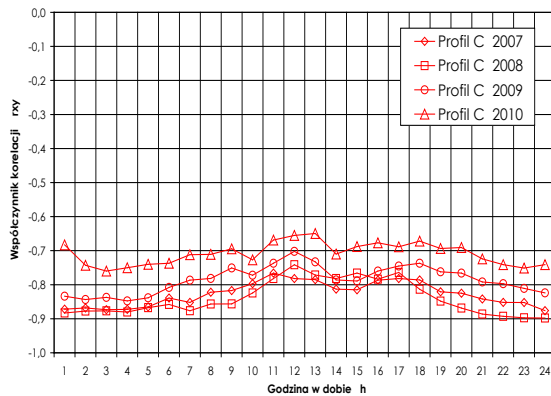
Silny wpływ temperatury powietrza na przebieg obciążenia w całej dobie w grupie profilowej C różni się nieco w poszczególnych latach. Wpływa na to dobór odbiorców kontrolnych, którzy charakteryzują się różnym wyposażeniem w urządzenia elektryczne, różnym sposobem korzystania z energii elektrycznej do celów grzewczych. Odbiorcy ci mogą posiadać i użytkować tylko podgrzewacz elektryczny wody lub tylko urządzenia do ogrzewania pomieszczeń, lub wykorzystywać energię elektryczną do obu sposobów ogrzewania elektrycznego jednocześnie.

### 3. Obciążenie elektryczne odbiorców indywidualnych zaliczanych do profilu C

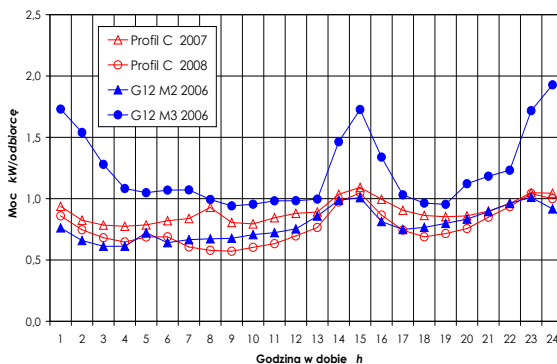
#### 3.1. Charakterystyka badanych odbiorców

Wyniki analizy profilu typu C porównano z wynikami badań krzywych obciążenia dwóch grup odbiorców rozlicznych według grupy taryfowej G12.

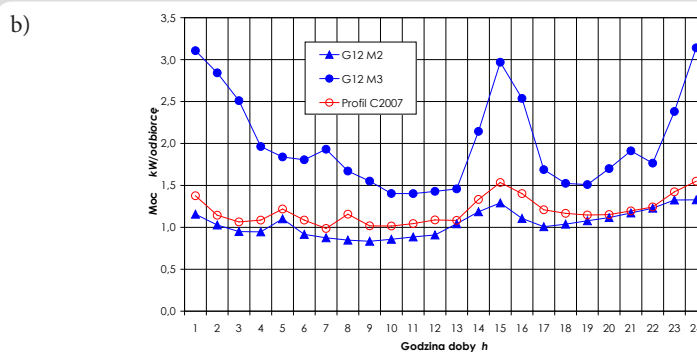
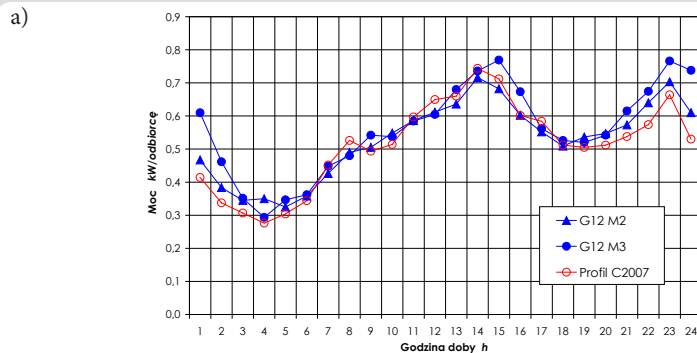
Podstawę do analizy stanowiły przebiegi obciążeń (poborów mocy czynnej) pochodzące z kilkuletniej rejestracji obciążenia 104 indywidualnych odbiorców energii



Rys. 4. Dobowa zmienność współczynnika korelacji pomiędzy wartościami mocy w poszczególnych godzinach a wartością średnią temperatury powietrza w dobie dla profilu C w badanych latach



Rys. 5. Dobowa zmienność średniorocznego obciążenia dla profilu C 2007 oraz C 2008, a także odbiorców typu G12 M2 oraz G12 M3 (2006)



Rys. 6. Dobowa zmienność średniego obciążenia dla grup G12 M2 oraz G12 M3, a także profilu C 2007, wyznaczona dla dwóch miesięcy: a) okresu letniego, b) okresu zimowego

Symbol grupy	Podgrzewacz wody użytkowej	Ogrzewanie elektryczne pomieszczeń
G12 M2	posiada	nie posiada
G12 M3	może posiadać	posiada

Tab. 3. Wybrane cechy badanych grup odbiorców

elektrycznej łącznie. Rejestracja miała miejsce w latach 2003–2009. Uwzględniono odbiorców zasilanych z sieci niskiego napięcia i zamieszkujących miejskie tereny województwa wielkopolskiego. Dane pomiarowe pochodziły z projektu badawczego prowadzonego przez Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej [8].

Wybrano dane z rejestracji u odbiorców typu gospodarstwo domowe, rozliczających się za energię elektryczną w taryfie G12 (odbiorców bytowo-komunalnych nieprowadzących działalności usługowo-handlowej), którzy posiadają i wykorzystują stacjonarne elektryczne urządzenia grzejne w zamieszkiwanym lokalu.

W tab. 3 zestawiono najważniejsze wspólne cechy analizowanych grup odbiorców, którzy zostali objęci badaniami. Dla łatwiejszej identyfikacji przydzielono im odpowiednie symbole.

### 3.2. Analiza porównawcza

Analiza zmienności średniorocznego obciążenia dobowego wykazała, że zarówno kształt grafiku obciążenia elektrycznego, jak i wartości mocy pobieranej przez odbiorców z grupy G12 M2 oraz G12 M3 różnią się wyraźnie (rys. 5). Na tym rysunku zaznaczono także przebieg obciążenia odpowiadający profilowi standardowemu typu C.

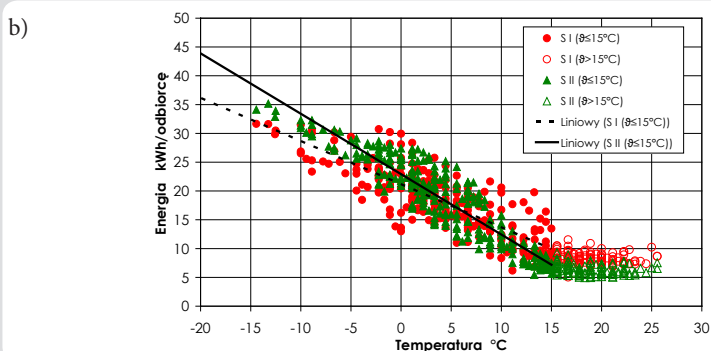
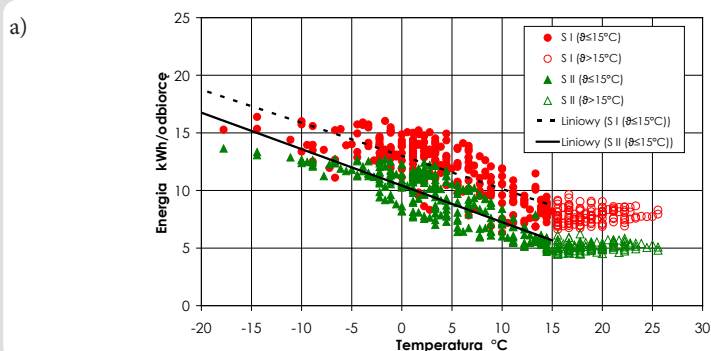
Przebieg obciążenia dobowego u badanych grup odbiorców oraz profilu typu C w okresie letnim jest spłaszczony, natomiast w okresie zimowym przyjmuje kilkakrotnie większe wartości niż w okresie letnim. W grupie G12 M3 różnice w przebiegach obciążenia okresu letniego oraz zimowego są znacząco większe niż różnice dla tych okresów w krzywych dla odbiorców z grupy G12 M2 (wyraźnie większe moce elektrycznych urządzeń do ogrzewania pomieszczeń niż elektrycznych podgrzewaczy wody użytkowej).

Na rys. 6 przedstawiono zmienność dobową, uśrednioną dla dwóch miesięcy: okresu letniego (czerwiec – lipiec) oraz okresu zimowego (grudzień – styczeń), opracowaną dla profilu C 2007 oraz grup G12 M2 oraz G12 M3 (2006).

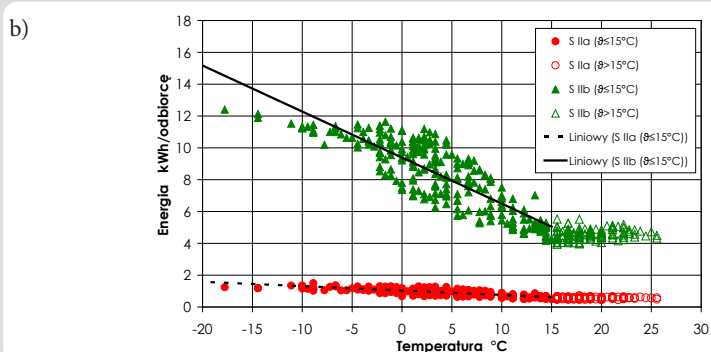
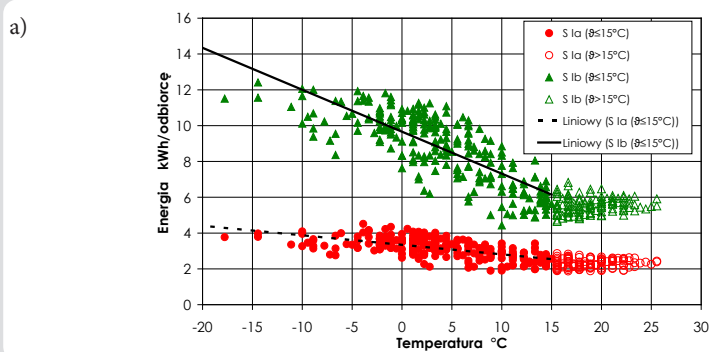
Wartości prezentowane w grafiku dla grup G12 M2 i G12 M3 oraz profilu C, a także kształt obciążenia są w okresie letnim bardzo zbliżone. Odbiorcy ci w okresie letnim wykorzystują w głównej mierze energię elektryczną do podgrzewania wody bieżącej (bojlery, podgrzewacze przepływowe). Wartości występujące w grafiku obciążenia okresu zimowego dla badanych grup oraz profilu są różne. Gdy odbiorcy wykorzystują energię elektryczną do ogrzewania pomieszczeń oraz wody, wartości te znacząco odbiegają od obciążenia odbiorców, którzy wykorzystują energię elektryczną tylko do podgrzewania wody użytkowej.

Zbieżność kształtu oraz wartości obciążenia w okresie letnim i zimowym u odbiorców z grupy G12 M2 oraz grafiku profilowego C 2007 wskazuje na to, że udział tych odbiorców w opracowaniu profilu był największy. Szczegółowe badania wykazały, że w pozostałych latach opracowania profilu C udział

uwzględnianych grup odbiorców był różny. Dobór odbiorców podczas opracowywania profilu standardowego ma więc znaczący wpływ na tworzenie grafiku wypadkowy.



Rys. 7. Zależność energii używanej w strefach S I oraz S II od temperatury powietrza przez odbiorców z grup: a) G12 M2 (2004), b) G12 M3 (2005)



Rys. 8. Zależność energii używanej w podstrefach stref rozliczeniowych od temperatury powietrza przez odbiorców z grupy G12 M2 (2004)

#### 4. Obciążenie elektryczne w strefach – modele

Na rys. 7 przedstawiono przykładowe zależności pomiędzy zużywaną energią w strefach z droższą oraz tańszą ceną energii dla odbiorców z grup G12 M2 oraz G12 M3.

Wyraźny wpływ temperatury powietrza na wartość zużywanej energii występuje wtedy, gdy średnia temperatura w czasie doby przyjmuje wartości mniejsze niż 15°C. W pozostałej części roku pobór energii utrzymuje się w przybliżeniu na stałym poziomie. W tym okresie średni pobór energii w strefie S I jest większy od poborów w strefie S II.

W odróżnieniu od grupy G12 M2, u odbiorców G12 M3 wpływ temperatury na zużycie w strefie S II jest silniejszy niż w strefie S I. Ponadto, gdy średnia temperatura powietrza w czasie doby spada poniżej 5°C, zaznacza się wyraźna dominacja poborów energii w strefie S II. Sytuacja ta związana jest z intensywniejszym korzystaniem przez odbiorców z urządzeń grzewczych w tym zakresie temperatur (okres zimowy).

Duża powtarzalność badanych zależności w kolejnych latach rejestracji pozwoliła opracować uśrednione postacie funkcji liniowej przedstawiające wpływ temperatury na zużywaną energię w strefach taryfy G11 (dla  $\vartheta \leq 15^\circ\text{C}$ ):

dla odbiorców z grupy G12 M2:

$$A_{SI}^{M2} = 12,98 - 0,290 \cdot \vartheta \quad (1)$$

$$A_{SII}^{M2} = 10,38 - 0,319 \cdot \vartheta \quad (2)$$

dla odbiorców z grupy G12 M3:

$$A_{SI}^{M3} = 21,20 - 0,753 \cdot \vartheta \quad (3)$$

$$A_{SII}^{M3} = 22,90 - 1,065 \cdot \vartheta \quad (4)$$

Na rys. 8 oraz 9 zaprezentowano zależności pomiędzy zużywaną energią w podstrefach stref rozliczeniowych a temperaturą powietrza dla grup G12 M2 oraz G12 M3.

Na podstawie zaprezentowanych zależności opracowano uśrednione (dla całego okresu obserwacji) zależności liniowe o następujących postaciach (dla  $\vartheta \leq 15^\circ\text{C}$ ):

dla odbiorców z grupy G12 M2:

$$A_{SIa}^{M2} = 3,34 - 0,053 \cdot \vartheta \quad (5)$$

$$A_{SIb}^{M2} = 9,65 - 0,234 \cdot \vartheta \quad (6)$$

$$A_{SIIa}^{M2} = 1,03 - 0,027 \cdot \vartheta \quad (7)$$

$$A_{SIIb}^{M2} = 9,38 - 0,289 \cdot \vartheta \quad (8)$$

dla odbiorców z grupy G12 M3:

$$A_{SIa}^{M3} = 4,83 - 0,151 \cdot \vartheta \quad (9)$$

$$A_{SIb}^{M3} = 16,36 - 0,598 \cdot \vartheta \quad (10)$$

$$A_{SIIa}^{M3} = 2,49 - 0,114 \cdot \vartheta \quad (11)$$

$$A_{SIIb}^{M3} = 2,49 - 0,114 \cdot \vartheta \quad (12)$$

Na energię zużywaną w wydzielonych podstrefach wyraźny wpływ ma



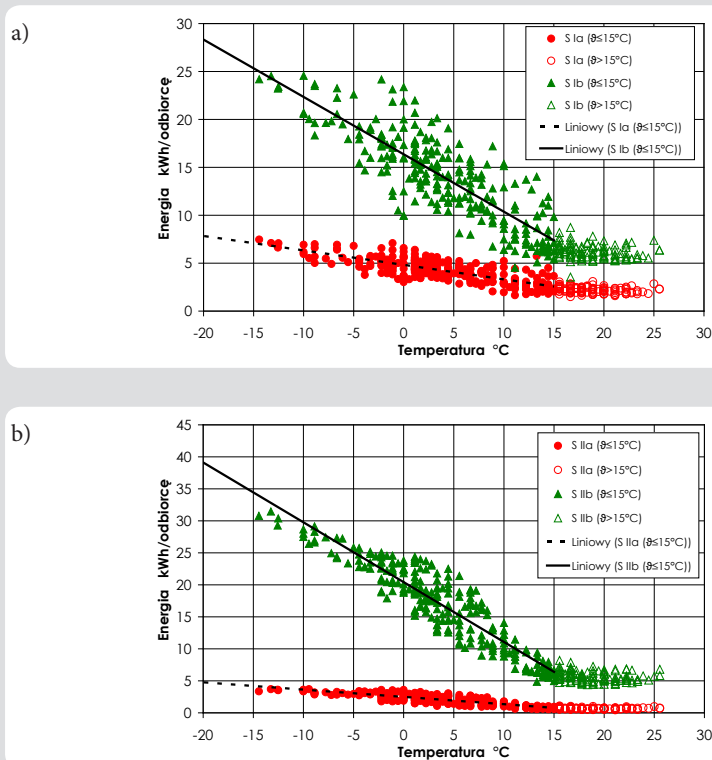
temperatura powietrza oraz czas trwania podstrefy. Większy wpływ temperatury w strefie z droższą ceną energii zauważa się w podstrefie S Ib, zarówno w grupie G12 M2, jak i G12 M3. W strefie z tańszą ceną energii wpływ temperatury jest zauważalny w obu analizowanych podstrefach. Największe wartości energii zużywają odbiorcy z grupy G12 M3 zimą (podczas niskich temperatur powietrza) w podstrefie S IIb.

Istotny wpływ temperatury na obciążenie odbiorców zaliczanych do profilu C wskazuje na konieczność uwzględniania tego czynnika podczas szacowania zużycia energii elektrycznej na podstawie profili standardowych. Można zauważyć, że wystąpienie temperatury powietrza o 10°C niższej niż temperatura, która była podczas rejestracji danych do budowy profilu, wprowadza stosunkowo duże błędy. Względne wartości błędów, obliczone względem obciążenia przy  $\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$ , znacznie przekraczają 20% we wszystkich badanych podstrefach. Największe dotyczą obciążenia odbiorców G12 M3 w strefie S II i wahają się ok. 45%.

### 5. Podsumowanie

Dominującym czynnikiem zewnętrznym, mającym wpływ na zużycie energii przez odbiorców zaliczanych do profilu C, jest temperatura powietrza. Oddziaływanie jest różne w poszczególnych strefach i podstrefach taryfy G12. Największe jest w strefie z tańszą ceną energii odbiorców wykorzystujących energię elektryczną do ogrzewania pomieszczeń. Wpływ czasu zachodu słońca na wartości pobieranej mocy (zużywanej energii) w wymienionych grupach odbiorców można uznać za pomijalnie mały. Znaczące zwiększenie dokładności szacowania obciążenia elektrycznego na podstawie profilu standardowego C można uzyskać poprzez uwzględnienie zmian temperatury, korzystając z odpowiednio opracowanych modeli.

Opracowane przez PTPiREE przebiegi obciążeń profilowych typu C wykazują różnice w kolejnych latach ich opracowywania. W głównej mierze ma na to wpływ zróżnicowanie odbiorców indywidualnych (odbiorców kontrolnych), których dane pomiarowe posłużyły do opracowania profilu standardowego. Pewna przypadkowość, wynikająca ze zbyt ogólnych kryteriów doboru odbiorców do profilu, może być przyczyną błędów przy szacowaniu poborów mocy dla odbiorcy objętych profilem. Zwiększenie dokładności szacowania obciążenia elektrycznego na podstawie profilu C można osiągnąć poprzez wydzielenie z tego profilu dwóch podprofilu:



Rys. 9. Zależność energii zużywanej w podstrefach stref rozliczeniowych od temperatury powietrza przez odbiorców z grupy G12 M3 (2005)

- C1 – dla odbiorców wykorzystujących energię elektryczną do podgrzewania wody bieżącej
- C2 – dla odbiorców wykorzystujących energię elektryczną do ogrzewania pomieszczeń.

### Bibliografia

1. Ustawa Prawo energetyczne, Dz.U. z 1997 r., nr 54, poz. 348, z późn. zm., 10 kwietnia 1997.
2. Bieliński W., Typowe wykresy obciążeń elektroenergetycznych odbiorców, Konferencja naukowo-techniczna „Rynek energii elektrycznej”, Nałęczów 1998.
3. Instrukcje Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, Enea SA [online], <http://www.operator.enea.pl> -Instrukcje Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej.
4. Frąckowiak R., Gałań T., Analiza profilu obciążenia odbiorców rozliczanych według taryfy G12 przy wykorzystaniu arkusza Excel, XIV Konferencja Naukowa Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice, Poznań 2009.
5. Frąckowiak R., Gałań T., Profile standardowe PTPiREE taryfy G w świetle badań obciążenia elektrycznego odbiorców indywidualnych, *Rynek Energii* 2012, nr 4.
6. Frąckowiak R., Gałań T., Krzywe obciążenia elektrycznego odbiorców typu gospodarstwa domowe rozliczane według taryfy G12, *Przegląd Elektrotechniczny* 2009, nr 10.
7. Starzyńska W., Statystyka praktyczna, Warszawa 2000.
8. Projekt badawczy Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPiREE), Badanie obciążeń i budowa katalogu charakterystyk odbiorców energii elektrycznej, Poznań 2003.

### Ryszard Frąckowiak

dr inż. hab.

Politechnika Poznańska

e-mail: [ryszard.frackowiak@put.poznan.pl](mailto:ryszard.frackowiak@put.poznan.pl)

Studia ukończył na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej (1976). Na tym samym wydziale uzyskał stopień doktora nauk technicznych (1984) oraz doktora habilitowanego (1998). Pracę zawodową rozpoczął w 1977 roku w Instytucie Elektroenergetyki PP. Obecnie jest kierownikiem Zakładu Urządzeń Rozdzielczych i Instalacji Elektrycznych w tym instytucji. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z analizą i modelowaniem wielkości charakteryzujących pracę sieci elektroenergetycznych, w szczególności wielkości zwarciowych.

### Tomasz Gałań

mgr inż.

Politechnika Poznańska

e-mail: [tomasz\\_galan@wp.pl](mailto:tomasz_galan@wp.pl)

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej (2005), realizuje pracę doktorską o tematyce związanej z kształtowaniem się krzywych obciążenia elektrycznego odbiorców indywidualnych. Pracownik Departamentu Planowania i Rozwoju w Enea Operator sp. z o.o.