

## ANALYSIS OF THE POWER AND ELECTRICITY DEMAND IN THE DAIRY PLANT

### Summary

Based on the analysis of daily and weekly electric load power variability the typical daily power load graphics for medium-sized dairy plant were determined, which can be used to short-term forecasting of power and electricity demand. For the purposes of forecasting electricity demand over longer time horizons, regression models using the relationship between monthly consumption of electricity and the quantity of processed milk and season were developed.

## ANALIZA ZAPOTRZEBOWANIA NA MOC I ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ W ZAKŁADZIE MLECZARSKIM

### Streszczenie

W oparciu o analizę dobowej i tygodniowej zmienności obciążeń elektroenergetycznych wyznaczono dla średniej wielkości zakładu mleczarskiego typowe dobowe grafiki obciążeń, które nadają się do wykorzystania w krótkoterminowym prognozowaniu zapotrzebowania na moc i energię elektryczną. Dla potrzeb prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną w dłuższych horyzontach czasowych opracowano modele regresyjne wykorzystujące zależności pomiędzy miesięcznym zużyciem energii elektrycznej a ilością przetworzonego mleka i porą roku.

### 1. Wprowadzenie

Przy aktualnym stanie rynku energii elektrycznej coraz większego znaczenia nabiera znajomość przebiegów zapotrzebowania na moc i energię elektryczną w czasie, i to zarówno w krajowym systemie elektroenergetycznym, systemach lokalnych, jak i przez poszczególne grupy odbiorców.

Odpowiednio przedstawione dane o zmianach obciążeń elektroenergetycznych w czasie mogą być wykorzystane między innymi [4]:

- w ocenie strat mocy i energii związanych z przesyłem i transformacją,
- w procesie regulacji napięcia w sieci,
- przy kształtowaniu najkorzystniejszego dobowego i tygodniowego przebiegu poboru mocy, minimalizującego opłaty za energię elektryczną,
- w negocjacjach indywidualnych umów na dostawę energii do odbiorców o specyficznych cechach przebiegu obciążenia,
- w prognozowaniu przez odbiorców mocy umownej na przyszłe okresy rozliczeniowe,
- w prognozowaniu krótkoterminowym zużycia energii elektrycznej.

Znajomość cech zmienności obciążeń elektroenergetycznych może więc być przydatna tak dla dostawców, jak i odbiorców energii elektrycznej. Jednak ci ostatni, a zwłaszcza średniej wielkości zakłady przemysłu rolno-spożywczego, ze względu na brak wyposażenia w odpowiednie urządzenia rejestrujące, takich informacji zwykle nie posiadają.

### 2. Cel, zakres i przedmiot badań

Celem pracy była analiza zmienności obciążeń elektroenergetycznych w wybranym zakładzie przemysłu rolno-spożywczego. W pracy scharakteryzowano w szczególności dobową i tygodniową zmienność zapotrzebowania na moc w szczycie obciążenia systemu elektroenergetycznego.

Praca zawiera także analizę rocznej zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną pod kątem możliwości wykorzystania do celów prognostycznych.

Cel pracy zrealizowano na przykładzie średniej wielkości zakładu mleczarskiego. Zakład ten produkuje mleko spożywcze homogenizowane i pasteryzowane, śmietanę, masło extra, ser twarogowy, kefir, maślankę i jogurty, skupując dla potrzeb produkcji 15-17 mln litrów mleka rocznie.

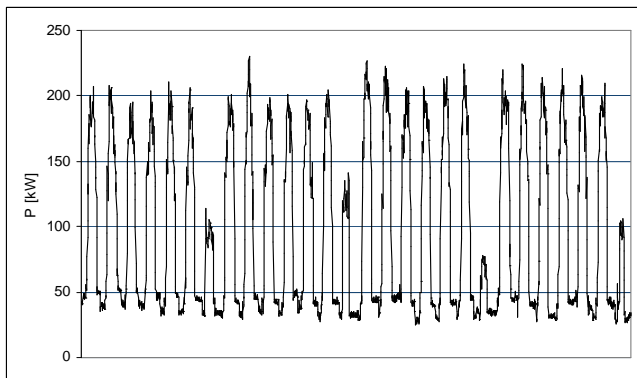
Mleczarnia zasilana jest w energię elektryczną ze stacji transformatorowej 15/04 kV, wyposażonej w transformator o mocy znamionowej 630 kVA. Moc zainstalowanych w mleczarni odbiorników elektrycznych  $P_i$  wynosi 330 kW.

Obliczenia i analizy wykonano w oparciu o wyniki badań własnych prowadzonych w stacji transformatorowej zakładu. Polegały one na ciągłym pomiarze i rejestracji średnich 10-minutowych obciążeń mocą czynną przy użyciu specjalistycznego urządzenia mikroprocesorowego.

### 3. Wyniki badań

Przebiegi poboru mocy przez wielu odbiorców wykazują cechy stochastycznej powtarzalności w ciągu doby. Przykładem takiego odbiorcy jest analizowany zakład mleczarski. Na rys. 1 pokazano przebieg średnich 10-minutowych wartości zapotrzebowania na moc czynną  $P$  przez ten zakład w okresie największego obciążenia systemu elektroenergetycznego.

W celu scharakteryzowania zmienności przebiegów poborów mocy przez odbiorców używa się różnorodnych miar [1, 2, 3, 5, 6]. Najczęściej są to wykresy typowe i różne grupy wskaźników liczbowych, biorących jako wielkość odniesienia obciążenie szczytowe  $P_s$ , obciążenie średnie  $P_{sr}$  lub moc zainstalowaną  $P_i$  [3]. Wskaźniki bazujące na obciążeniu szczytowym, jako wielkości odniesienia, nazywamy stopniami obciążenia. Wskaźniki, które za wielkość odniesienia przyjmują wartość średnią obciążenia nazywamy stopniami wyrównania, zaś odnoszące się do mocy zainstalowanej stopniami wyzyskania.



Rys. 1. Przebieg zapotrzebowania na moc czynną w poszczególnych dniach miesiąca zimowego  
 Fig. 1. Course of the active power demand for each day of the month winter

Jako wielkości podstawowe wykorzystuje się obciążenie chwilowe  $P(t)$ , obciążenie najmniejsze (podstawowe)  $P_o$ , obciążenie średnie  $P_{sr}$ , obciążenie szczytowe  $P_s$  itp.

Do wskaźników najczęściej wykorzystywanych przy opisie zmienności zapotrzebowania na moc, a w szczególności do oceny równomierności przebiegu poboru mocy przez odbiorców, należą stopnie obciążenia takie jak [1, 2]:

- średni stopień obciążenia (wskaźnik wypełnienia przebiegu):

$$m = \frac{P_{sr}}{P_s}, \quad (1)$$

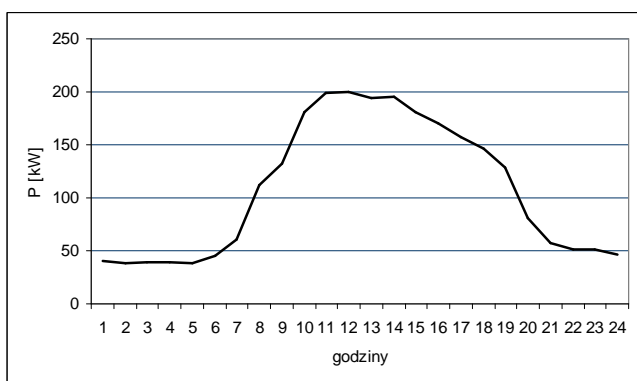
- wskaźnik nierównomierności poboru mocy:

$$m_o = \frac{P_o}{P_s}. \quad (2)$$

Wskaźniki charakteryzujące zmienność obciążeń elektroenergetycznych mogą być wyznaczane dla różnych przedziałów czasowych, przy czym dla gospodarki elektroenergetycznej podstawowe znaczenie ma zmienność obciążenia w okresach dobowych.

### Dobowa zmienność obciążeń

Na rys. 2 przedstawiony jest wykres zapotrzebowania na moc czynną przez badany zakład mleczarski w wybranej dobie roboczej, zaś wartości wskaźników charakteryzujących dobową zmienność obciążeń elektroenergetycznych zestawiono w tab. 1.



Rys. 2. Przebieg zmienności obciążeń w wybranej dobie roboczej  
 Fig. 2. Course of the load power variability on the chosen working day

Tab. 1. Wartości średnie wskaźników charakteryzujących równomierność poboru mocy w poszczególnych dniach tygodnia

Table 1. Average values of indicators characterizing the uniformity of the power demand each day of the week

Dzień	$m_d$	$m_{do}$
Poniedziałek	0,51	0,16
Wtorek	0,50	0,17
Środa	0,51	0,18
Czwartek	0,50	0,16
Piątek	0,50	0,16
Sobota	0,50	0,16
Niedziela	0,55	0,32

W okresie objętym badaniami średni dobowy stopień obciążenia  $m_d$  zmieniał się od 0,46 do 0,60. Takie wartości wskaźnika  $m_d$  potwierdzają, że zakład pracuje przez większą część doby, tj. na dwie zmiany. Następstwem dwuzmianowości zakładu są bardzo niskie, zwłaszcza w dni robocze i soboty, wartości wskaźników nierównomierności poboru mocy  $m_{do}$ .

Analizując dobowy przebieg obciążeń przedstawiony na rys. 2 można zauważyć, że największy pobór mocy przypada na okres doliny dziennej obciążenia systemu elektroenergetycznego, co jest zjawiskiem korzystnym.

### Tygodniowa zmienność obciążeń

Do analizy tygodniowej zmienności obciążeń zastosowano analogiczne wskaźniki jak dla zmienności dobowej, a ich wartości zestawiono w tab. 2. Są one nieco niższe od wskaźników dobowych, z czego wynika, że tygodniowa nierównomierność obciążeń jest nieznacznie większa od dobowej.

Tab. 2. Wartości średnie wskaźników charakteryzujących tygodniową zmienność obciążeń

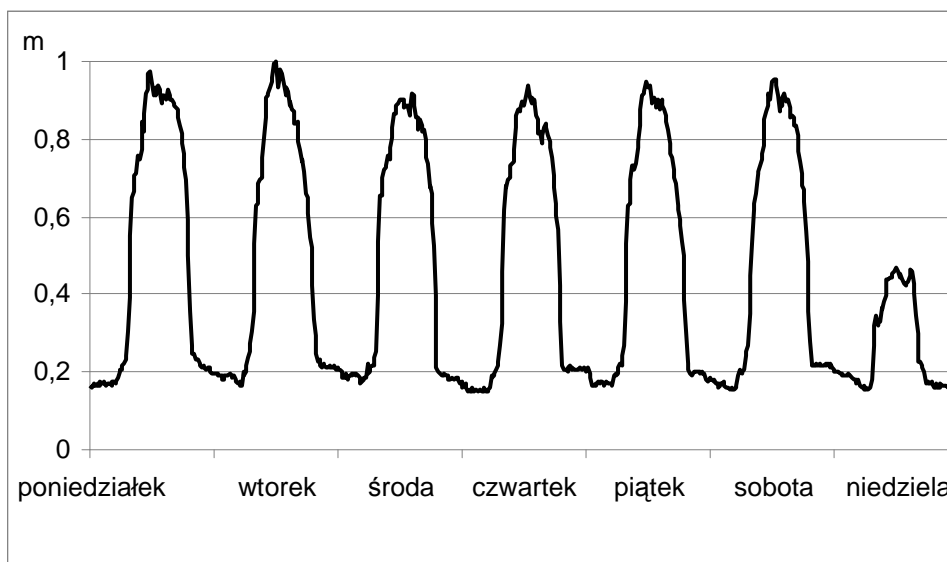
Table 2. Average values of indicators characterizing the variability of load power in the weeks

Wskaźnik	Wartość
$m_t$	0,45
$m_{to}$	0,14

Na rys. 3 przedstawiono przebieg chwilowych stopni obciążenia w tygodniu zimowym, przy czym za obciążenie chwilowe zgodnie w obowiązujących wymaganiach wzięto obciążenie średnie 10-minutowe. Na rys. 1 i 3 widać, że przebiegi obciążeń w dni robocze i soboty są do siebie zbliżone zarówno, co do wartości zapotrzebowania na moc, jak i kształtu tych przebiegów. Charakter zmienności zapotrzebowania na moc w dzień świąteczny jest podobny jak w dni robocze, ale zapotrzebowanie jest przeszło dwukrotnie mniejsze.

Wnioski wynikające z obserwacji przebiegów potwierdziły obliczenia statystyczne. W oparciu o analizę wariancji stwierdzono, że wartości dobowego zużycia energii elektrycznej w dni robocze i soboty nie różnią się istotnie między sobą i są istotnie większe niż w dni świąteczne.

Dla potrzeb analizy podobieństw kształtu dobowych przebiegów zapotrzebowania na moc wyznaczono dla każdej badanej doby współczynnik  $k$  kształtu zgodnie z zależnością [2]:



Rys. 3. Zmienność stopni obciążenia  $m$  w tygodniu zimowym  
 Fig. 3. Variability of load-degrees  $m$  in the winter week

$$k = \frac{P_{srkw}}{P_{sr}} \quad (3)$$

gdzie:

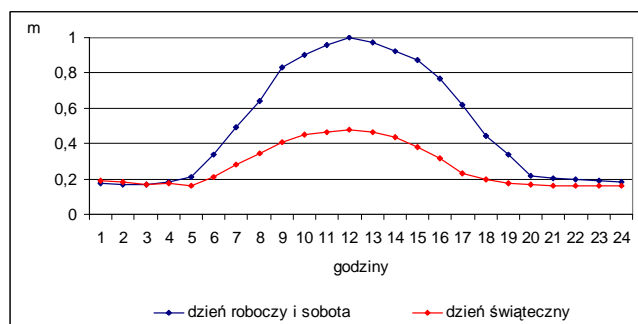
$$P_{srkw} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_i^2}{N}}, \quad (4)$$

$N = 144$ .

Wartości wskaźnika  $k$  kształtowały się na poziomie 1,15 niezależnie od rodzaju dnia.

Przeprowadzona analiza zmienności obciążeń pozwoliła sporządzić typowe dobowe wykresy (grafiki) obciążeń dla zakładu mleczarskiego. Sporządzono je wyznaczając zredukowane (obciążenia odnoszono do tygodniowej mocy szczytowej), przeciętne i jednocześnie skorygowane wykresy obciążeń, oddzielnie dla doby roboczej i soboty oraz dla doby świątecznej (rys. 4).

Wyznaczone grafiki obciążeń mogą być wykorzystane zarówno dla potrzeb eksploatacyjnych, jak i w prognozowaniu krótkoterminowym zapotrzebowania na moc i energię elektryczną przez analizowany zakład mleczarski.



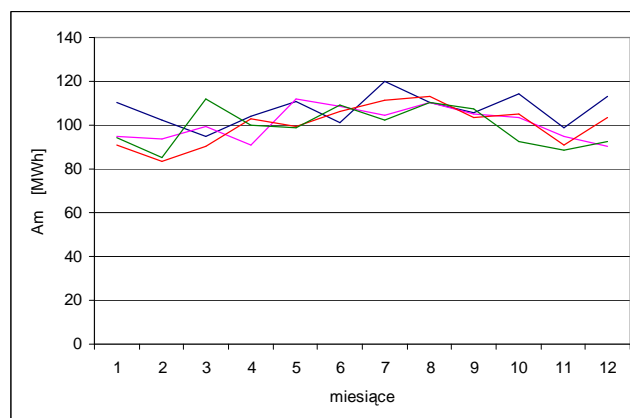
Rys. 4. Typowe dobowe grafiki obciążeń elektroenergetycznych

Fig. 4. Typical daily electric power load graphics

### Roczna zmienność zużycia energii elektrycznej

W badanym zakładzie mleczarskim zużywa się w roku średnio ok. 1,2 GWh energii elektrycznej. Na rys. 5 przed-

stawiono przebiegi tego zużycia w ostatnich czterech latach, w rozbiciu na miesiące. Można stwierdzić, że pobór energii elektrycznej przez zakład jest podobny w kolejnych latach (współczynnik zmienności 3%), choć zmienność zużycia energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach jest często większa, dochodząc nawet do 10% w okresie zimowym.



Rys. 5. Przebiegi miesięcznego zużycia energii elektrycznej  
 Fig. 5. Courses of monthly electricity consumption

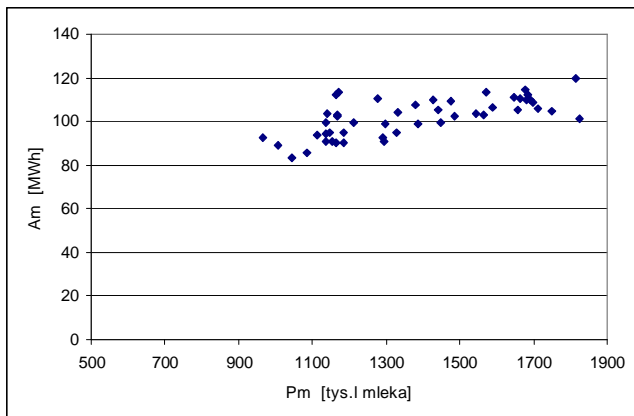
Na wielkość zużycia energii elektrycznej w zakładzie ma wpływ szereg czynników, ale największy ilość przetworzonego mleka. Potwierdziła to analiza korelacji, która wykazała, że istnieje istotna statystycznie zależność liniowa pomiędzy zużyciem energii elektrycznej  $A_m$ , a ilością przetworzonego mleka  $P_m$  (współczynnik korelacji  $r = 0,75$ ) (rys. 6).

Związek ten dobrze opisuje funkcja liniowa o postaci:

$$A_m = 68,172 + 0,0245 P_m, \quad (5)$$

gdzie:

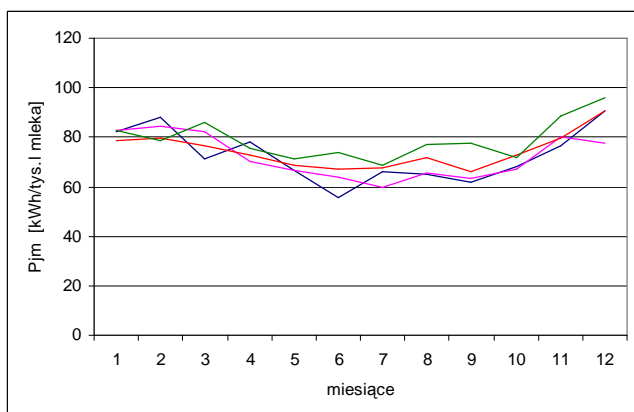
$A_m$  – miesięczne zużycie energii elektrycznej [MWh],  
 $P_m$  – miesięczny skup mleka [tys. litrów].



Rys. 6. Wykres rozrzutu pomiędzy miesięcznym zużyciem energii elektrycznej a ilością przetworzonego mleka  
Fig. 6. Scatterplot between monthly electricity consumption and the quantity of processed milk

W celu sprawdzenia, czy zależność (5) może być wykorzystywana w badanym zakładzie mleczarskim do przewidywania wielkości zapotrzebowania na energię elektryczną, wyznaczono prognozy wygasłe tego zapotrzebowania i porównano je z wartościami rzeczywistymi. W oparciu o te porównania wyznaczono średni absolutny błąd prognoz wygasłych [7]. Jego wartość wyniosła 4,9%, co świadczy o przydatności opracowanej zależności do celów predykcyjnych.

Z praktyki wynika, że odbiorcy do wyznaczania zapotrzebowania na energię elektryczną chętnie wykorzystują wskaźniki zużycia jednostkowego. Ze względu na istotny wpływ ilości przerobionego mleka na zużycie energii elektrycznej wyznaczono jego wartości w przeliczeniu na wielkość skupowanego mleka, oddzielnie dla każdego miesiąca (rys. 7).



Rys. 7. Przebiegi zmian jednostkowego zużycia energii elektrycznej w roku  
Fig. 7. Courses of changes of unit energy consumption in the year

W okresie objętym badaniami wskaźnik ten zmieniał się od 55 do 88 kWh/tys. litrów mleka, przy średniej 74 kWh w przeliczeniu na tys. litrów mleka i jego wartość była związana z porą roku. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że wielkość jednostkowego zużycia

energii elektrycznej w funkcji miesiąca można efektywnie zamodelować wielomianem drugiego stopnia o postaci:

$$A_{jm} = 0,6572m^2 - 8,6435m + 95,062 \quad (6)$$

gdzie:

$A_{jm}$  – miesięczne jednostkowe zużycie energii elektrycznej [kWh/tys. l mleka],

$m$  – miesiąc;  $m = 1, 2, \dots, 12$ .

Wykorzystanie zależności (6) do prognozowania dało średni absolutny błąd prognoz wygasłych równy 6,8%. I chociaż prognozę taką można uznać za dopuszczalną [7], to jest ona gorszej jakości niż wyznaczona w oparciu o całkowitą miesięczną ilość przerobionego mleka.

#### 4. Podsumowanie

Wyznaczone w pracy typowe grafiki obciążeń dobowych mogą być z powodzeniem wykorzystywane w krótkoterminowym prognozowaniu zapotrzebowania na moc i energię elektryczną nie tylko przez badany zakład mleczarski, ale i przez inne firmy, charakteryzujące się podobną zmiennością obciążeń.

Do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną w zakładzie mleczarskim w dłuższych horyzontach czasowych nadają się zbudowane w pracy modele regresyjne wiążące zużycie energii elektrycznej całkowite i jednostkowe odpowiednio z ilością przetworzonego mleka i porą roku. Dobrej jakości prognozy (błąd mniejszy od 5%) można uzyskać wykorzystując do predykcji model opisujący zależność całkowitego zużycia energii elektrycznej od ilości przetworzonego mleka w skali miesiąca.

#### 5. Literatura

- [1] Bieliński W.: Typowe wykresy obciążeń elektroenergetycznych wybranych odbiorców. Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej „Rynek energii elektrycznej REE'98”. Naęczów, 1998, s. 307-314.
- [2] Derecka M., Bieliński W.: Nowe charakterystyki zmienności mocy pobieranej przez odbiorców. Materiały VI Konferencji Naukowej „Prognozowanie w elektroenergetyce PE'2002”. Częstochowa, 2002, s. 39-47.
- [3] Dobrzańska I. i in.: Analiza i prognoza obciążeń elektroenergetycznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1971.
- [4] Dobrzańska I. (red.): Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2002.
- [5] Dudek G.: Wybrane metody analizy szeregów czasowych obciążeń elektroenergetycznych. Materiały VII Konferencji Naukowej „Prognozowanie w elektroenergetyce PE'2004”. Częstochowa, 2004, s. 116-125.
- [6] Góra S.: Gospodarka elektroenergetyczna w przemyśle. WNT, Warszawa, 1982.
- [7] Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S.: Prognozowanie ekonomiczne. Teoria. Przykłady. Zadania. WN PWN, Warszawa, 2004.