

Analiza grafików obciążeń wybranego segmentu odbiorców niskiego napięcia

Analysis of load diagrams developed for selected segments of low voltage consumers

Jednym z warunków ciągłego i niezawodnego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego jest bieżące równoważenie zapotrzebowania na energię elektryczną przez produkcję w źródłach. Warunek ten dodatkowo nabrał znaczenia ekonomicznego wraz z uruchomieniem mechanizmów rynkowych w elektroenergetyce, gdzie nie tylko ilość, ale i wartość bieżącej produkcji ma zaspokajać potrzeby odbiorców. Konkurencja w sektorze wymaga od dostawców energii wiedzy na temat zapotrzebowania w horyzoncie bliższym i dalszym, zarówno w wymiarze ilości jak i kształtu. Prowadzi to do znajomości tzw. grafików zużycia energii. Wiedza taka umożliwia wówczas efektywną pracę systemu elektroenergetycznego, w tym optymalizację jego funkcjonowania, począwszy od doboru jednostek wytwórczych aż po budowę portfela kontraktów i taryf.

Podstawą w planowaniu zapotrzebowania jest określenie poboru mocy/energii w przedziale czasu (grafiku obciążenia). Zmiany obciążenia mogą być regularne bądź też przypadkowe. Do tego celu wykorzystuje się zarejestrowane dane historyczne, na podstawie których buduje się wiedzę o przyszłych zachowaniach odbiorców. Dzięki temu możliwe jest między innymi:

- rozwój i przygotowanie zasobów wytwórczych i przesyłowych,
- planowanie i prowadzenie pracy jednostek wytwórczych,
- prognozowanie mocy wykorzystywanej na okresy rozliczeniowe,
- wykorzystanie powstałych informacji w procesie regulacji parametrów napięcia,
- ocena strat mocy i energii, które powstają w procesach transformacji bądź przesyłu,
- tworzenie sygnałów kształtujących grafiki obciążeń (dobowy, tygodniowy, itd.), minimalizując koszty energii elektrycznej.

Wspomniany grafik obciążenia jest obrazem zapotrzebowania na energię elektryczną. Grafik obciążenia można zdefiniować jako zbiór danych określających ilość energii elektrycznej planowanej do wprowadzenia lub poboru z sieci, oddzielnie dla poszczególnych okresów (np. dzień, tydzień, miesiąc czy rok) przyjętych do technicznego bilansowania systemu. Standaryzacja takiego grafiku może prowadzić do opracowania profilu charakterystycznego dla danego odbiorcy bądź grupy odbiorców, a którego wykorzystanie może być pomocne przy bilansowaniu zarówno technicznym, jak i handlowym, a także przy opracowywaniu taryf.

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia związane z opracowaniem przybliżonego profilu zużycia energii elektrycznej poprzez odnalezienie zależności pomiędzy poszczególnymi grupami odbiorców niskiego napięcia. W tym celu posłużono się uśrednionymi grafikami stworzonymi na podstawie dostępnych danych. Analizie poddano dane w różnych segmentach odbiorców niskiego napięcia, w tym m.in.: apteki, sklepy, placówki edukacyjne, domy jednorodzinne, stacje benzynowe, lokale mieszkalne i inne (segment usługowy, przemysłowy, rolniczy). Celem przeprowadzonych działań były próby wyodrębnienia nowych grup odbiorców – inny podział niż funkcjonujący w danej populacji.

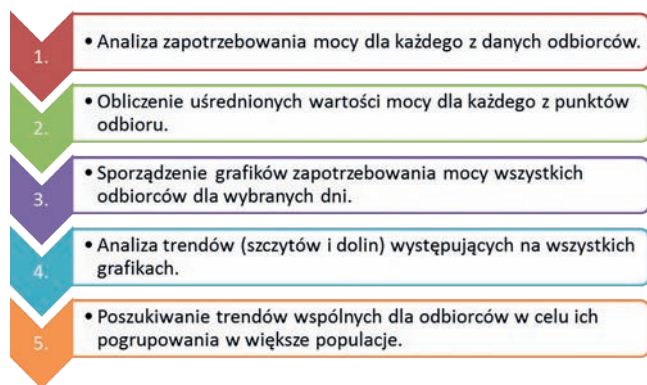
Przedmiot i sposób analizy

Bazy danych, które poddano analizie trendów objęły okres dwuletni. Spośród wszystkich dostępnych odbiorców końcowych niskiego napięcia analizowano 24 grupy:

- apteki,
- bary i restauracje,
- domy jednorodzinne – sektor usługowy,
- domy jednorodzinne – sektor rolny,
- edukacja,
- hotele,
- hurtownie,
- kioski,
- kościoły,
- lokale mieszkalne,
- mała produkcja,
- opieka zdrowotna,
- ośrodki mieszkalne,
- piekarnie,
- place budowy,
- prowizorki budowlane,
- zużycie rolnicze,
- sklepy,
- stacje paliw,
- usługi, biura i urzędy,
- warsztaty i serwisy,
- wodociągi,
- wymienniki ciepła,
- zasilanie urządzeń TVK i telekomunikacyjnych.

Powyższe określenia grup oraz nazewnictwo punktów pomiarowych zostały opisane w bazach danych jako ogólna charakterystyka odbiorcy. Dla każdego odbiorcy w bazie danych można było zidentyfikować średnie godzinowe zapotrzebowanie na moc czynną (wartości średnie zapotrzebowania są mierzone co godzinę każdego dnia, stąd indeks dolny h).

Z uwagi na analityczno-statystyczny charakter zagadnienia przyjęto pewien schemat postępowania, według którego zrealizowano analizę (rys. 1).



Rys. 1. Schemat analizy danych

W analizie użyto podstawowych miar statystycznych, tj.:

- średnia arytmetyczna

$$P_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{hi}, \quad \text{gdzie } i \in 1...N \quad (1)$$

gdzie:

P_{sr} – średnie zapotrzebowanie na moc,
 P_{hi} – wartość obciążenia dla danej godziny,
 N – liczebność danej grupy;

- odchylenie standardowe

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{hi} - P_{sr})^2} \quad (2)$$

gdzie:

P_{hi} – wartość średnia obciążenia dla danej godziny w konkretnej grupie,
 P_{sr} – średnia arytmetyczna badanego obciążenia godzinowego, dla wszystkich punktów pomiarowych w obrębie jednej grupy odbiorców,
 N – liczba godzin badanego okresu;

- wartość minimalna – przedstawia najmniejsze zapotrzebowanie mocy w danej grupie;
- wartość maksymalna – przedstawia największe zapotrzebowanie mocy w danej grupie.

W ramach wykonanej analizy statystycznej przedstawiono trzy doby: 11 marca, 15 lipca, 16 grudnia. Dni te zostały wybrane w sposób nieprzypadkowy. Każdy z nich reprezentuje inną porę roku, lecz ten sam dzień tygodnia, jakim jest czwartek. Głównym celem badań było znalezienie pewnych trendów dla grupy odbiorców, w której skład będą wchodził wymienieni odbiorcy

końcowi, co pozwoli zaproponować nowy plan taryfowy dla większego kręgu odbiorców końcowych energii elektrycznej.

Popyt na moc jest zróżnicowany, co można zaobserwować w tabeli 1 przedstawiającej statystyki opisowe dla wszystkich 24 grup odbiorców. Przykładowo, średnie godzinowe zużycie mocy dla grupy aptek wyniosło 1,67 kW, a dla piekarni 45,40 kW. Wartości odchylenia standardowego również świadczą o pewnej zmienności wewnątrzgrupowej. Odchylenie standardowe jest miarą zmienności zanotowanych wyników wokół średniej. Uogólniając, odchylenie standardowe dostarcza niezbędną wiedzę w następującym temacie – czy dysponowane pomiary są podobne do siebie czy też są zróżnicowane w danej grupie wyników. Minimum oraz maksimum są to wartości najmniejsze oraz największe zarejestrowanych wartości zapotrzebowania mocy w całym przedziale czasu.

Aby zbadać dokładniej zmienność w wymienionych grupach posłużono się współczynnikiem zmienności V , który jest stosunkiem odchylenia standardowego do średniej. Współczynnik ten daje nam informacje o rozproszeniu wyników względem wielkości średniej, co daje względną miarę rozproszenia i zarazem ułatwia porównanie zmienności określonych cech wśród tej samej grupy czy też kilku badanych grup.

Tabela 1

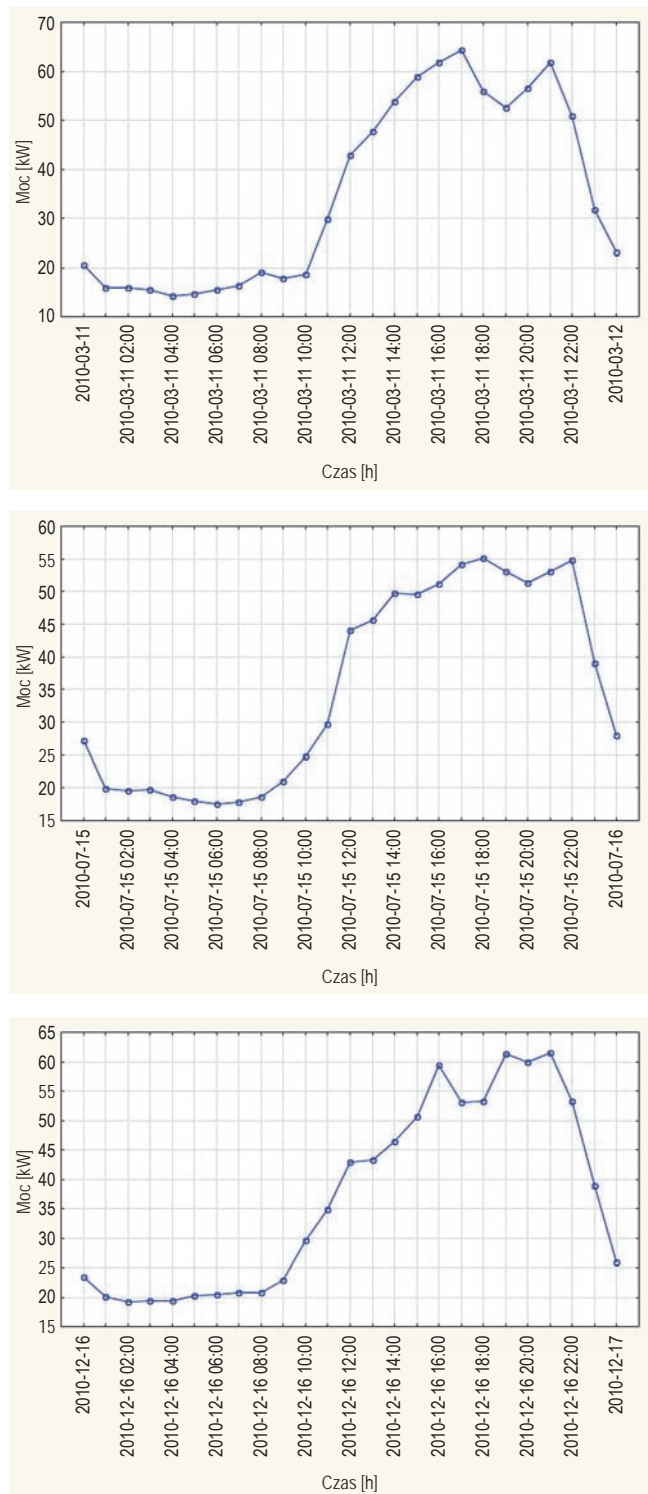
Statystyki opisowe poszczególnych grup odbiorców

Zmienna	Statystyki	P_{sr} , kW	σ_h , kW	P_{min} , kW	P_{max} , kW	N , -	V , -
Apteki		1,67	1,16	0,00	5,59	2	0,69
Bary i restauracje		34,33	17,73	0,00	84,54	22	0,52
Domy jednorodzinne – sektor usługowy		0,75	0,61	0,00	4,78	3	0,81
Domy jednorodzinne – sektor rolny		22,23	10,48	0,00	62,40	12	0,47
Edukacja		31,45	27,23	0,00	140,45	16	0,87
Hotele		2,98	4,07	0,00	25,15	1	1,37
Hurtownie		5,10	3,48	0,00	17,34	5	0,68
Kioski		1,34	1,81	0,00	12,11	9	1,35
Kościoty		4,80	2,84	0,00	21,88	4	0,59
Lokale mieszkalne		0,99	0,64	0,00	4,82	8	0,65
Mała produkcja		5,97	3,40	0,00	22,69	6	0,57
Opieka zdrowotna		3,70	2,56	0,00	14,38	4	0,69
Ośrodki mieszkalne		3,68	1,49	0,57	12,70	1	0,40
Piekarnie		45,40	13,03	0,00	91,50	15	0,29
Plac budowy		7,51	4,10	0,00	23,16	3	0,55
Provizorki budowlane		3,13	1,40	0,00	9,85	4	0,45
Rolnicze		10,17	10,55	0,00	44,83	5	1,04
Sklepy		256,71	96,53	0,00	524,97	60	0,38
Stacja paliw		7,19	3,97	0,00	15,51	2	0,55
Usługi, biura i urzędy		45,37	29,21	0,00	150,63	80	0,64
Warsztaty i serwisy		10,34	7,57	0,00	50,63	13	0,73
Wodociągi		14,05	6,55	0,00	41,64	9	0,47
Wymienniki ciepła		9,03	4,27	0,00	16,35	15	0,47
Zasilanie urządzeń TVK i telekomunikacyjnych		14,68	1,14	0,00	19,11	12	0,08

Analiza porównawcza

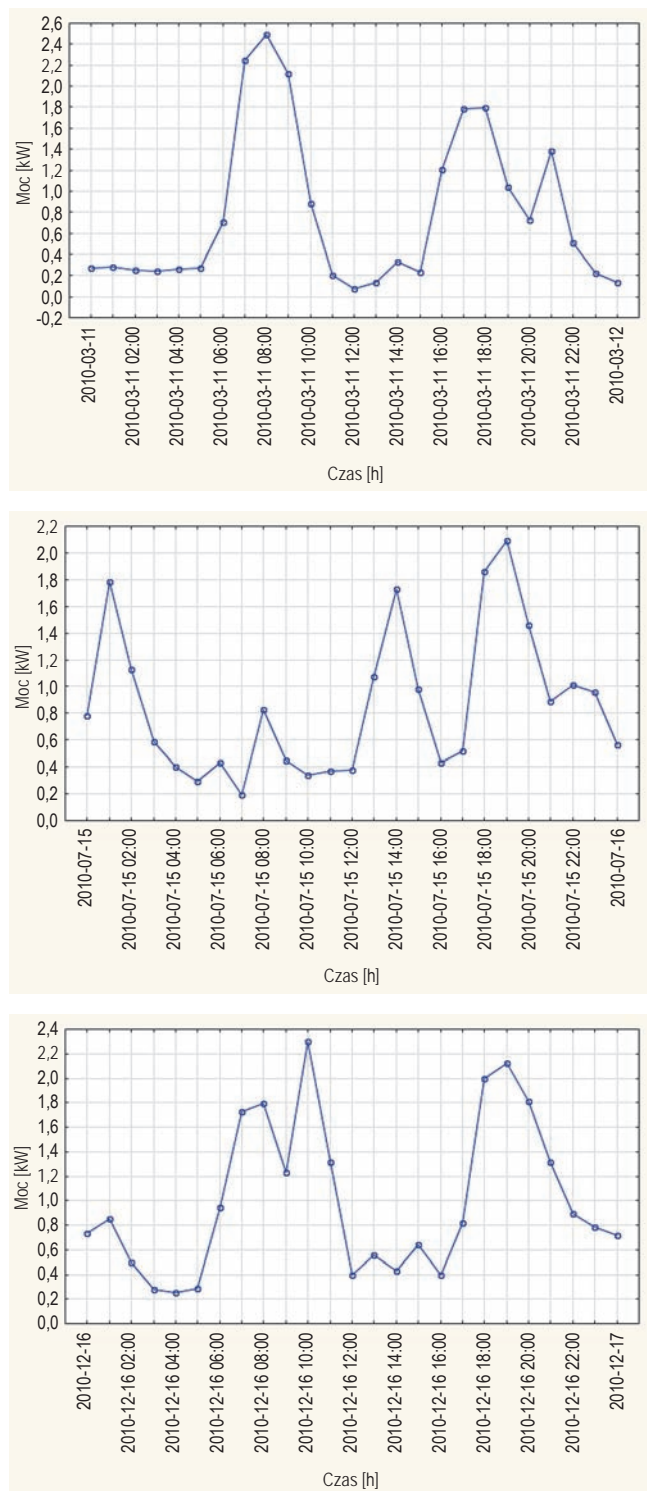
W wybranych trzech dobach (11 marca, 15 lipca, 16 grudnia) zbadano różnicę zapotrzebowania z uwagi na odmienne pory astronomiczne przy tym samym dniu tygodnia. Obserwując

przykładowo grafik barów i restauracji (rys. 2) można zauważyć, że ogólne trendy zapotrzebowania są ze sobą porównywalne. Występowanie dolin (od godziny ok. 1:00-9:00 oraz 17:00-19:00) oraz szczytów (9:00-17:00 oraz 19:00-22:00) jest charakterystyczne, natomiast po godzinie 22:00 zapotrzebowanie maleje i ze szczytu przechodzi w dolinę. Zużycia energii występują w podobnym odstępie czasowym dla każdego z wymienionych dni, ponieważ w tych godzinach występuje pora obiadowa.



Rys. 2. Zapotrzebowanie dzienne mocy – Bary i restauracje (11 marca, 15 lipca, 16 grudnia)

Inna wyróżniona grupa odbiorców to Domy jednorodzinne – sektor usługowy. Na rysunku 3 przedstawiono grafiki dobowe dla wskazanych trzech dni w tej grupie odbiorców.



Rys. 3. Zapotrzebowanie dziennej mocy – Domy jednorodzinne – sektor usługowy (11 marca, 15 lipca, 16 grudnia)

Na wyżej zamieszczonych profilach zapotrzebowania można zauważyć, że doliny oraz szczyty występują w różnych przedziałach czasu w zależności od analizowanego dnia. Zatem do końca nie można zakładać, że dla wszystkich grup odbiorców

grafiki dobowe (w obrębie jednej grupy) w odniesieniu do danego dnia poddanego analizie będą zbliżone do siebie.

Porównanie uśrednionych profili zapotrzebowania jest pomocne w odnalezieniu pewnych trendów zużycia w zależności od charakterystyki danego odbiorcy, co w dalszych krokach może pozwolić na pogrupowanie analizowanych konsumentów w celu zaproponowania indywidualnego planu taryfowego dla nowo zdefiniowanych grup.

W celu porównania ze sobą grafików dobowych zapotrzebowania mocy różnych grup w dalszej analizie dokonano normalizacji baz danych za pomocą prostego przekształcenia wartości:

$$P_{pu} = \frac{P_{hj}}{P_{dsr}} \quad (3)$$

gdzie:

P_{pu} – względna wartość chwilowa średnia zapotrzebowania mocy dla danej godziny (liczba niemianowana w jednostkach względnych pu),

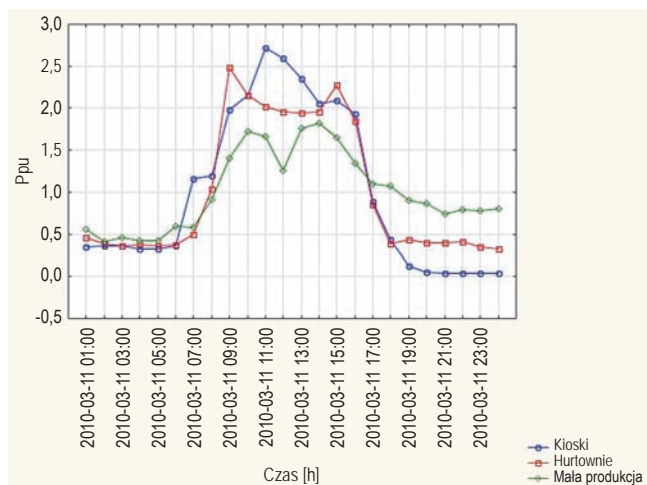
P_{hi} – wartość średnia obciążenia dla danej godziny w konkretnej grupie w danym dniu,

P_{dsr} – średnia arytmetyczna badanego obciążenia godzinowego, dla wszystkich punktów pomiarowych w obszarze jednej grupy odbiorców w obrębie analizowanego dnia.

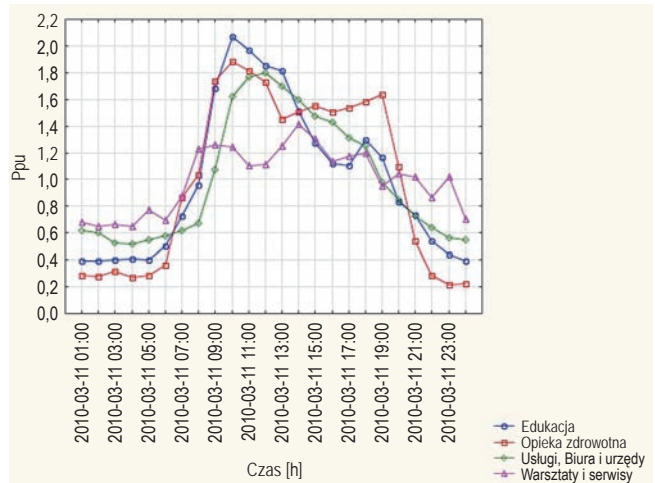
Ponieważ w równaniu (3) wykorzystano średnią arytmetyczną zauważalne jest zróżnicowanie grafiku względem średniej. Powyższy zabieg matematyczny został powtórzony dla każdej wartości pomiaru w ciągu całego dnia w każdej grupie. Pozwoliło to porównać ze sobą różne grupy (oraz moce), co umożliwiło ocenę w ramach grupy zróżnicowania grafiku względem średniej grupowej.

Zastosowanie w tym przypadku jednostek względnych prowadzi do tego, że wszystkie parametry i zmienne wyrażone są w postaci jednoznacznie przyporządkowanych liczb niemianowanych. Celem takiego przekształcenia w obliczeniach jest dążenie do oceny zróżnicowania poziomów mocy. Dodatkowo, taki sposób reprezentowania wielkości w jednostkach względnych pozwala łatwiej porównać wielkości ze sobą.

Otrzymane za pomocą wzoru (3) wartości umożliwiają porównanie ze sobą trendów poprzez nałożenie na siebie wykresów dobowych profili obciążenia poszczególnych odbiorców.



Rys. 4. Porównanie grafików obciążenia dobowego – Kioski, Hurtownie, Mała produkcja



Rys. 5. Porównanie grafików obciążenia dobowego – Edukacja, Opieka zdrowotna, Usługi, Biura i urzędy, Warsztaty i serwisy

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wybrane wykresy, które obrazują zapotrzebowanie na energię elektryczną dla każdej z grup oraz ich pogrupowanie w większe populacje na podstawie trendów zużycia.

Powyższy sposób analizy powtórzono dla innych dni badanego okresu. Każdorazowo formułowano najmniejszy możliwy zbiór grup odbiorców. Wybierając ostatecznie najmniejszy wspólny zbiór podgrup analizowanych odbiorców nN można było zaproponować ostateczny nowy podział analizowanego segmentu, przedstawiony w tabeli 2.

Tabela 2

Podział na grupy odbiorców końcowych na podstawie ich dobowych grafików obciążenia

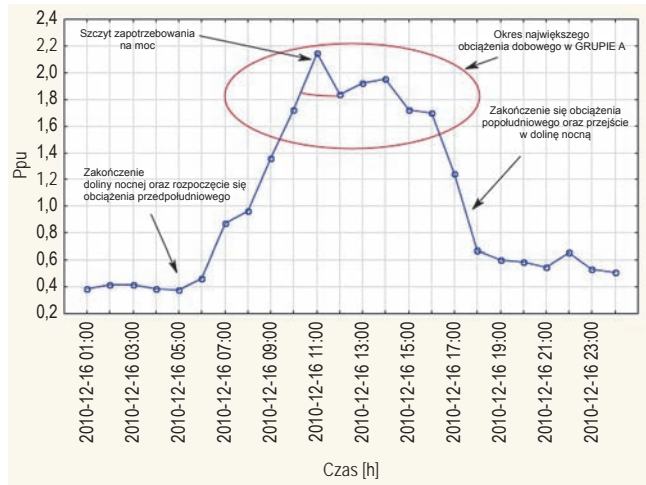
Nazwa grupy	Odbiorcy
Grupa A	Kioski, Hurtownie, Mała produkcja
Grupa B	Edukacja, Opieka zdrowotna, Usługi, Biura i urzędy, Warsztaty i serwisy
Grupa C	Wymienniki ciepła, Stacja paliw
Grupa D	Apteki, Hotele, Plac budowy, Sklepy
Grupa E	Bary i restauracje, Prowizorki budowlane
Grupa F	Kościóły, Ośrodki mieszkalne
Grupa G	Lokale mieszkalne, Domy jednorodzinne – sektor rolny, Domy jednorodzinne – sektor usługowy.
Grupa H	Rolnicze
Grupa I	Piekarnie

Propozycja profili w nowych grupach

Podział konsumentów na powyższe grupy (A-I) był pierwszym krokiem do wprowadzenia nowego podziału i uśrednionych profili. Profile takie mogą znaleźć zastosowanie przy konstruowaniu taryf.

W artykule przedstawiono wybrane uśrednione profile obciążeń opracowane na podstawie średnich wartości zapotrzebowania mocy odbiorców wchodzących w skład każdej z grup wymienionych w tabeli 2. Do sporządzenia profili posłużono się wykresami, które powstały na bazie wartości otrzymanych za pomocą wzoru (3) użytego podczas normalizacji danych. Przykładowo dla Grupy A (w której skład wchodzi: Kioski, Hurtownie,

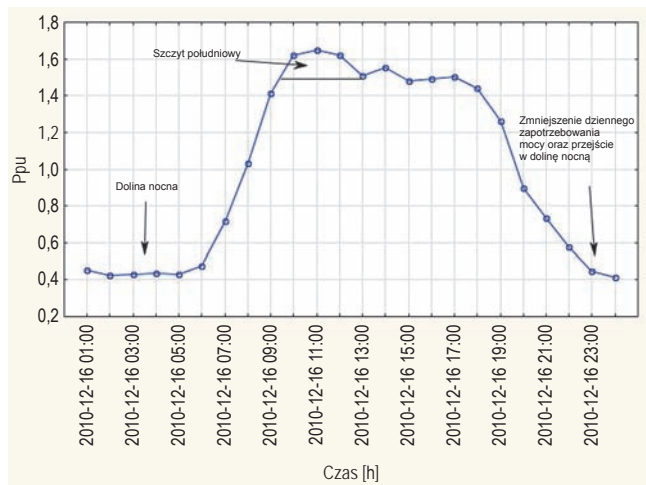
Mała produkcja), została policzona wartość średniej arytmetycznej wszystkich godzinowych wartości P_{pu} , które pochodzą z każdej grupy odbiorców wchodzących w skład Grupy A. Uśredniony grafik dla tej grupy przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Uśredniony grafik obciążenia dobowego dla odbiorców znajdujących się w Grupie A

Z rysunku 6 można odczytać, że dla tej grupy godzina 11:00 jest godziną obciążoną największym zapotrzebowaniem mocy. Zawiera się w szczycie, który trwa od godziny 7:00 do 17:00. Dolina nocna natomiast rozpoczyna się po godzinie 17:00 i trwa do godziny 6:00.

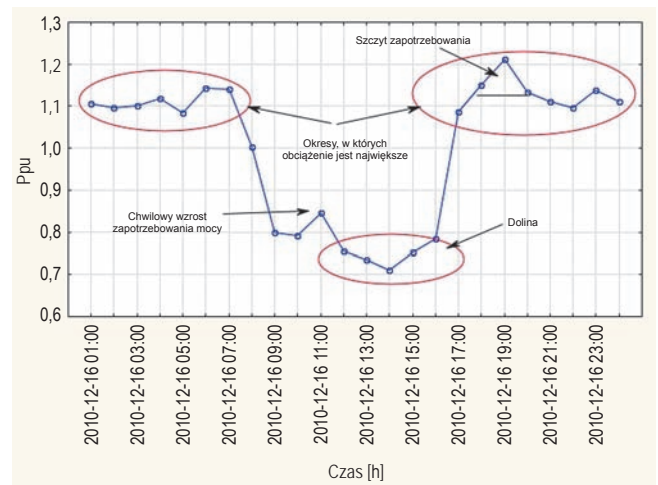
Podobny charakter reprezentują odbiorcy przypisani do Grupy B. Uśrednione ukształtowanie profilu obciążenia dobowego w tej grupie jest bardzo zbliżone do grafiku Grupy A, o czym świadczą przedziały czasowe, w których występuje wzrost czy też spadek zużycia energii.



Rys. 7. Uśredniony grafik obciążenia dobowego dla odbiorców znajdujących się w Grupie B

Zupełnie innym profilem charakteryzują się odbiorcy w Grupie C. W tej grupie znajdują się tacy odbiorcy jak Stacje paliw oraz Wymienniki ciepła. Trendy zapotrzebowania widoczne na rysunku 8 bardzo dobrze odzwierciedlają sposób funkcjonowania tych odbiorców. Stacje paliw największy obrót notują w go-

dzinach popołudniowych, co zauważalne jest od godziny 15:00, kiedy to zapotrzebowanie na energię elektryczną tych odbiorców wzrasta. W tym przypadku wysokie zapotrzebowanie trwa do godzin wczesno-porannych, a dolina występuje w ciągu dnia w godzinach 9:00-14:00.



Rys. 8. Uśredniony grafik obciążenia dobowego dla odbiorców znajdujących się w Grupie C

Podsumowanie

Przedstawiona analiza grup odbiorców końcowych niskiego napięcia miała na celu wyłonienie wspólnych trendów zapotrzebowania na energię elektryczną, co pozwoliłoby utworzyć inne – niż dotychczas – grupy odbiorców. Cel ten jest związany z budową nowych i weryfikacją istniejących standardowych profili zapotrzebowania na energię elektryczną. Wiedza o tych profilach jest użyteczna dla operatorów zarówno technicznych jak i handlowych.

Analizowany w artykule zbiór odbiorców jest ujmowany całościowo w jednej taryfie, a jak wykazały powyższe rozważania zróżnicowanie charakteru odbiorców jest duże. Zatem budowa taryf wykorzystujących indywidualne cechy wewnątrz dużych grup odbiorców może prowadzić do poprawy zarządzania zużyciem energii elektrycznej. Wpisuje się to w rolę taryfy jako czynnika kształtującego zmienność zapotrzebowania.

Wydaje się, że z jednej strony odbiorcy końcowi niskiego napięcia, a w szczególności gospodarstwa domowe, są wrażliwi na ceny energii i wynikające z nich koszty. Zatem zastosowanie odpowiednich bodźców przy znanych profilach zapotrzebowania powinno prowadzić do spadku zużycia energii bądź też „migracji” zużycia do strefy, w której stawki są odpowiednio niższe. Jednak z drugiej strony w Polsce niestety to zjawisko nie występuje zbyt powszechnie, czego dowodem jest częsty wybór jednostrefowej taryfy G11. Wniosek ten dotyczy całej grupy odbiorców niskiego napięcia, niemniej jednak stosując głębsze podziały można byłoby wówczas wyróżnić te zbiory odbiorców, w których sposobie funkcjonowania koszty energii i w efekcie poziom oraz kształt zużycia będą podlegać prawom rynkowym.

