

## ANALIZA PROFILI ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ ODBIORCÓW W SIECI NISKIEGO NAPIĘCIA

Joachim BARGIEL<sup>1</sup>, Adrian HALINKA<sup>2</sup>, Marcin NIEDOPYTALSKI<sup>3</sup>

1. Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów  
tel.: 32 237 10 85 e-mail: joachim.bargiel@polsl.pl
2. Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów  
tel.: 32 237 21 61 e-mail: adrian.halinka@polsl.pl
3. Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów  
tel.: 32 237 10 85 e-mail: marcin.niedopytalsi@polsl.pl

**Streszczenie:** Tworzone klastry energii w idei działania powinny dążyć docelowo do zrównoważenia energii elektrycznej w swoim obszarze działania tak w perspektywie długookresowej (bilansowanie energii) jak i krótkookresowej (bilansowanie mocy). Wymaga to między innymi bardzo dobrego rozpoznania zmienności mocy pobieranej i wytwarzanej w klastrze, a także z możliwościami regulacyjnymi urządzeń dla zapewnienia bilansowania. W artykule przedstawiono wyniki prowadzonych analiz rzeczywistych i standardowych profili zużycia energii elektrycznej różnych typów odbiorców w sieci nN. Sprawdzono korelację profili standardowych wybranego OSD z rzeczywistymi przebiegami obciążeń różnych typów odbiorców komunalnych. Wyniki analiz mogą być przydatne przy tworzeniu klastrów energii.

**Słowa kluczowe:** profile standardowe, odbiorcy nN, charakterystyki obciążeniowe odbiorców.

### 1. WSTĘP

Dobre odwzorowanie zmienności pobieranej energii jest szczególnie istotne dla odbiorców mających rozdzielone usługi dystrybucji i dostawy energii elektrycznej. Wymagania przepisów unijnych (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/72/WE z dnia 13 lipca 2009 r.) oraz taniejące urządzenia umożliwiają coraz większej grupie odbiorców na dostęp do szczegółowszych informacji o zużywanej energii elektrycznej niż tylko całkowita ilość energii zużyta w danym czasie i strefie. Daje to możliwość opracowywania profili obciążeniowych, dzięki którym możliwe będzie świadome zarządzanie kosztami zakupu energii i jej zużycia. Ponadto rozwijana przez Ministerstwo Energii idea klastrów energii w założeniu funkcjonowania ma docelowo dążyć do zrównoważenia energii elektrycznej pobieranej i wytwarzanej w swoim obszarze działania tak w perspektywie długookresowej (bilansowanie energii) jak i krótkookresowej (bilansowanie mocy). Wiąże się to z koniecznością bardzo dobrego rozpoznania zmienności mocy (czynnej ale i także biernej) zarówno dla strony popytowej jak i podażowej w klastrze, a także z możliwościami regulacyjnymi urządzeń dla zapewnienia bilansowania.

Znajomość zmienności czasowej obciążeń jest istotna nie tylko z punktu widzenia nowych struktur energetycznych jakimi są klastry energii ale także dla minimalizowania

ryzyka uczestnictwa w rynku energii i tworzenia konkurencyjnych taryf energii elektrycznej przez OSD.

Dla realizacji tych zadań tworzone są „standardowe profile zużycia” energii elektrycznej (lub inaczej standardowe profile obciążeń). Do ich opracowania wykorzystuje się dobowe pomiary zmienności obciążeń wytypowanych odbiorców oraz statystykę matematyczną.

#### 1.1. Standardowe profile obciążeń

Postęp automatyzacji w elektroenergetyce, przekształcania sieci elektroenergetycznej w sieć inteligentną (ISE), w tym m.in. *smart metering*, umożliwiają opracowywanie coraz większej bazy profili obciążeniowych, zapewniających lepsze ich dopasowanie do właściwości konkretnych typów odbiorców. Przykładowo w Tauron Dystrybucja S. A. wyróżnionych jest obecnie 11 typów profili (tablica 1) [1], [2].

Tablica 1. Zestawienie przykładowych typów standardowych profili zużycia energii elektrycznej [1], [2]

Typ	Przydzielona grupa taryfowa	Liczba charakterystyk (rok)
Profil A	G11, G13	12
Profil B	G12 (poza G12w i G12as)	12
Profil C	C11 z zasilaniem 1-fazowym	12
Profil D	C11 z zasilaniem 3-fazowym i C13	12
Profil E	C12a	12
Profil F	C12b	6 (2018) / 12 (2019)
Profil G	G12w z zasilaniem 1-fazowym	4 (2018) / 12 (2019)
Profil H	G12w z zasilaniem 3-fazowym	4 (2018) / 12 (2019)
Profil O	odbiorcy typu oświetleniowego	12
Profil R	R	3
Profil S	G12as	12

Profile te obowiązują dla różnych sezonów (od jednego do dwunastu) i dni tygodnia (od jednego do trzech rodzajów). Daje to sumarycznie ponad sto dwadzieścia

charakterystyk. Zgodnie z zapisami ustawy Prawo Energetyczne oraz aktów wykonawczych do niej, OSD odpowiedzialny jest m.in. za opracowywanie, aktualizację i udostępnianie odbiorcom oraz ich sprzedawcom standardowych profili zużycia energii elektrycznej, w związku z czym są one sukcesywnie modyfikowane a ich baza rozbudowywana [1], [2].

## 2. BADANIA

W artykule przedstawiono wyniki analiz możliwości zastosowania standardowych profili obciążeń do odwzorowania właściwości niewielkich grup różnych typów lokalnych odbiorców.

Sprawdzono także wpływ ostatniej aktualizacji wybranych standardowych profili na ich korelacje z rzeczywistymi obciążeniami analizowanych odbiorców.

### 2.1. Opis badań

W badaniach wykorzystano rzeczywiste przebiegi czasowe obciążeń różnych typów odbiorców z terenu powiatu gliwickiego, m.in. budynki komunalne użyteczności publicznej, iluminacja zewnętrzna, oświetlenie uliczne, oczyszczalnia ścieków, pływalnia. Odbiorcy ci cechują się różnymi właściwościami zmienności mocy tak dobowymi, tygodniowymi jak i sezonowymi. Dane pomiarowe obejmują okres co najmniej dwóch lat i dostępne są z rozdzielczością jednogodzinową.

Moce umowne punktów poboru energii wynoszą od kilku do 40 kW dla odbiorców z grup taryfowych C1x i 45 do 150 kW dla odbiorców z grupy C21. Ogólna liczba analizowanych odbiorców wynosi 30.

Ze względu na grupy taryfowe odbiorców, dla których analizowano zmienność obciążeń oraz właściwy dla punktów przyłączenia odbiorców do sieci Operatora Systemu Dystrybucyjnego, w badaniach korelacji wzięto przede wszystkim pod uwagę zawarte w tablicy 1 standardowe profile zużycia energii elektrycznej typu: D i O.

Dla odbiorców z grupy taryfowej C21 określono profil standardowy dla którego korelacja z rzeczywistymi obciążeniami jest największa.

### 2.2. Kryterium oceny

Do oceny podobieństwa zmienności obciążeń z opracowanymi przez OSD standardowymi profilami obciążenia wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona. Określa on stopień zależności liniowej pomiędzy dwoma zbiorami zmiennych  $x$  i  $y$  o wartościach poszczególnych zmiennych oznaczonych jako  $X$  i  $Y$ . Współczynnik ten wyznaczany jest jako iloraz kowariancji i iloczynu odchyłeń standardowych dwóch zmiennych:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x,y)}{\delta_x \cdot \delta_y} \quad (1)$$

gdzie:  $\text{cov}(x,y)$  – kowariancja zmiennych  $x$  i  $y$ ,  
 $\delta_x, \delta_y$  – odchylenia standardowe zmiennej  $x$  i  $y$ .

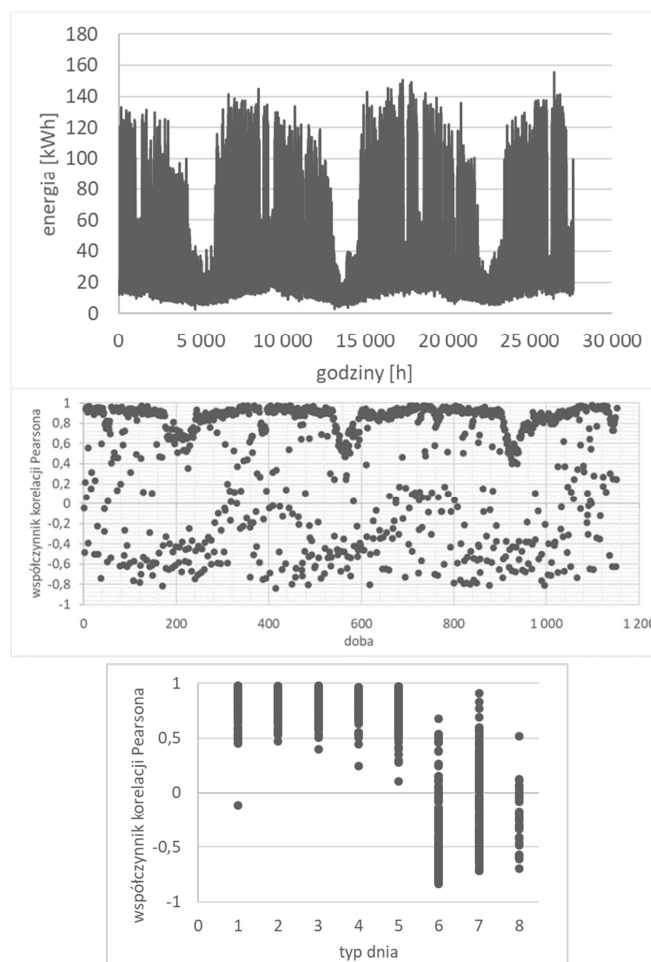
Współczynnik korelacji Pearsona przyjmuje wartości z domkniętego przedziału  $[-1;1]$ , przy czym im większa jest jego wartość bezwzględna, tym między zmiennymi istnieje silniejsza zależność liniowa. Dodatnie wartości współczynnika oznaczają dodatnią liniową zależność między zmiennymi, natomiast ujemne oznaczają odwrotny trend zależności między zmiennymi.

Zgodnie ze skalą Guilforda można przyjąć, że bezwzględne wartości współczynnika  $r_{xy}$  od 0 do 0,2 oznaczają słaby związek między zmiennymi, od 0,2 do 0,4 relację wzajemną niską, od 0,4 do 0,7 korelację umiarkowaną, natomiast wartości powyżej 0,7 wskazują na wysoką i bardzo wysoką (od 0,9) zależność zmiennych [3].

## 3. WYNIKI

Ze względu na charakter zmienności obciążeń odbiorców podzielono na cztery grupy: odbiorcy oświatowi, odbiorcy typu oświetleniowego o sterowaniu zegarami astronomicznymi lub zmierzchowymi, pozostali odbiorcy komunalni i odbiorcy z taryfą C21.

W pierwszym obszarze badań oceniano korelację przebiegów czasowych obciążeń dla grupy odbiorców oświatowych o taryfach C11 i obowiązującego dla tej taryfy profilu standardowego D (rys. 1).



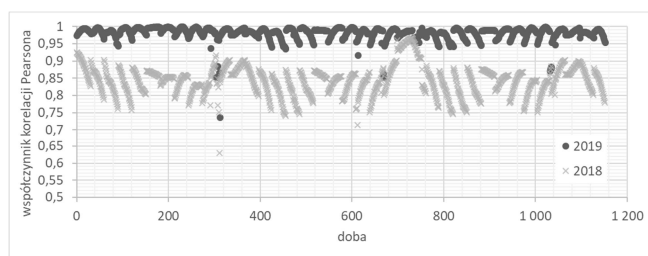
Rys. 1. Grafik obciążenia i współczynniki korelacji dla grupy odbiorców oświatowych o taryfach C11 i profilu standardowego typu D w układzie dobowym i dni tygodnia (typ dnia: 1-pn., 2-wt., 3-śr., 4-czw., 5-pt., 6-sob., 7-niedz., 8-święto)

Odbiorców oświatowych cechuje dla dni roboczych w większości roku wysoka i bardzo wysoka korelacja z profilem opracowanym przez OSD. Najmniejsza wartość korelacji występuje dla weekendów w ciągu całego roku, a dla dni roboczych mniejsze wartości współczynnika korelacji występują dla okresu lata (rys. 1). Związane jest to z roczną i tygodniową specyfiką wykorzystania takich obiektów. Duże ujemne wartości współczynnika korelacji dla tego typu odbiorców występują dla weekendów i świąt, co oznacza, że dobowo zmienność obciążenia ma odwrotną

tendencję niż w profilu standardowym (zbliżona do profilu standardowego O dla miesięcy letnich).

Obowiązująca od początku bieżącego roku aktualizacja IRiESD Tauron Dystrybucja [2] wprowadziła zmiany części profili standardowych. Zmiany obejmują modyfikację części typów profili zarówno pod względem ilości charakterystyk jak i wartości godzinowych.

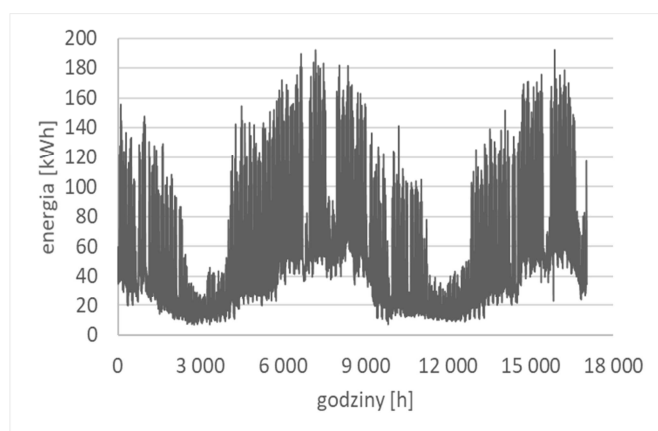
Wykorzystując rzeczywiste historyczne dane pomiarowe (z poprzednich lat) porównano ich korelację z profilami zeszłorocznymi i bieżącymi. Przykładowe wyniki dla standardowego profilu obciążenia O, przeznaczonego dla odbiorców typu oświetleniowego (np. oświetlenie uliczne), przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Współczynnik korelacji dla przykładowego oświetlenia ulicznego i profili standardowych typu O z lat 2018 i 2019

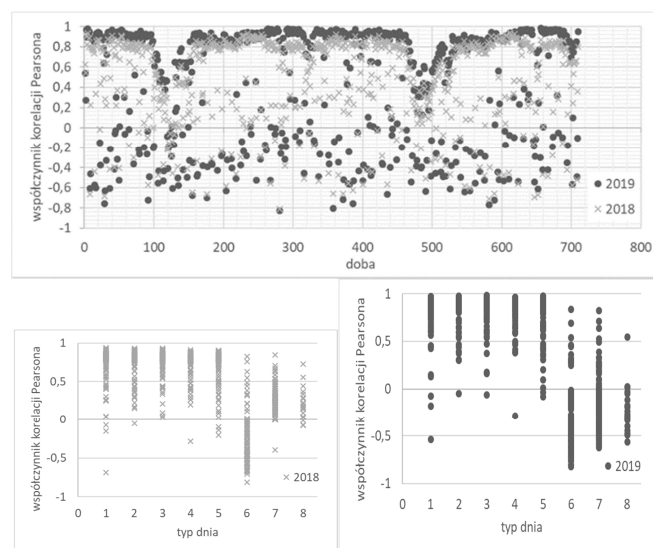
Dla odbiorców oświetleniowych profile standardowe bardzo dobrze odwzorowują właściwości rzeczywistych odbiorów na co wpływa przede wszystkim przewidywalność ich pracy. Profile standardowe z 2018 r. najlepiej odwzorowują właściwości odbiorów w początkowych dniach miesiąca, jednak zależne to jest między innymi od przyjętych w danym sterowniku oświetlenia korekt czasów załączania i wyłączenia. Korelacja rzeczywistych profili obciążeń ze standardowymi, zaktualizowanymi w 2019 rok jest przez cały analizowany okres bliska maksymalnej wartości, co oznacza bardzo dobre odwzorowanie tego typu odbiorców.

Podobne badania do powyższych przeprowadzono także dla profilu standardowego D i grupy wszystkich 23 odbiorców o taryfie C11 (budynki komunalne użyteczności publicznej). Zmienność czasowa obciążenia tej grupy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Grafik obciążenia dla grupy odbiorców o taryfach C11 (budynki komunalne użyteczności publicznej)

Uzyskane dla tej grupy współczynniki korelacji z profilami standardowym D z roku bieżącego i poprzedniego przedstawiono na rysunku 4.

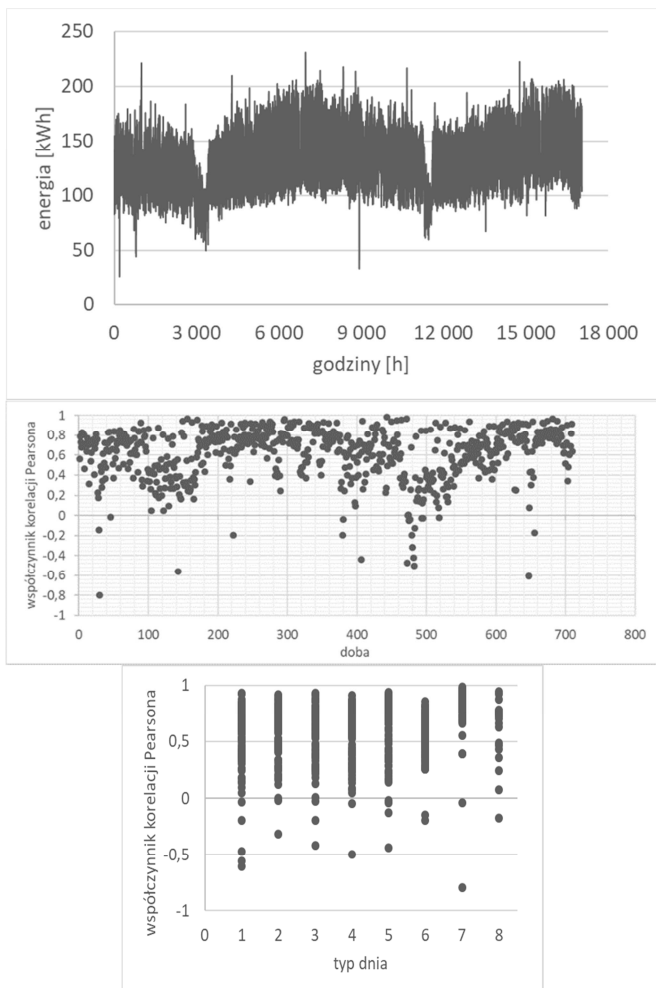


Rys. 4. Współczynniki korelacji dla grupy odbiorców o taryfach C11 i profilach standardowych typu D z lat 2018 i 2019 w układzie dobowym i dni tygodnia (typ dnia: 1-pn., 2-wt., 3-śr., 4-czw., 5-pt., 6-sob., 7-niedz., 8-święto)

Grupa odbiorców o taryfie C11 (utworzona z zsumowanych danych pomiarowych) jest lepiej skorelowana z tegorocznym profilem standardowym D dla dni roboczych. Natomiast korelacja z profilem dla niedziel i dni świątecznych uległa znacznemu zmniejszeniu i osiąga istotne wartości ujemne (trend odwrotny) co oznacza, że dla grupy kontrolnej, na podstawie której opracowany został profil standardowy, występująca dobowo zmienność obciążenia jest podobna jak w dni robocze. Uzyskane weekendowe wartości  $r_{x,y}$  wynikają z opisywanych wcześniej (rys. 1) właściwości odbiorców oświetleniowych, których udział w grupie jest znaczny.

W efekcie uzyskanych wyników można stwierdzić, że korelacja przeprowadzona tak dla pojedynczych odbiorców jak i ich grup z profilami standardowymi przyjmuje w znacznej większości lepsze wartości dla obowiązujących profili. Zdecydowana poprawa współczynnika korelacji i w efekcie prawie idealna zbieżność trendów zmian obciążenia i profilu standardowego O w obowiązującej w Tauron Dystrybucja S.A. IRiESD występuje dla odbiorców typu oświetleniowego. Zauważalne punktowe obniżenia wartości współczynnika korelacji dla odbiorcy oświetleniowego (rys. 2) wynikają z czasowych przerw w działaniu oświetlenia.

W ostatnim etapie badań dla grupy odbiorców o taryfie C21 sprawdzono korelację ich grafików obciążeń z wybranymi profilami standardowymi. Największe wartości współczynnika korelacji dla tego typu odbiorcy uzyskano dla profilu standardowego D (rys. 5).



Rys. 5. Grafik obciążenia i współczynniki korelacji dla grupy odbiorców o taryfach C21 i profili standardowych typu D w układzie dobowym i dni tygodnia (typ dnia: 1-pn., 2-wt., 3-śr., 4-czw., 5-pt., 6-sob., 7-niedz., 8-święto)

Dla grupy odbiorców o taryfach C21 w skład której wchodzi: budynki oświatowe, oczyszczalnia ścieków i pływalnia uzyskane współczynniki korelacji z profilem standardowym D (rys. 5) mają największą wartość dla niedziel i świąt. Jest to sytuacja inna niż dla grupy odbiorców o taryfach C11 (rys. 4).

Dla większości dni korelacja obciążenia rzeczywistego z profilem jest co najmniej umiarkowana, co oznacza możliwość wykorzystania profilu standardowego do modelowania tej grupy odbiorców na przykład przy analizach bilansowania energii elektrycznej w klastrach.

#### 4. PODSUMOWANIE

Znajomość profili obciążeń umożliwia zwiększanie zysków zarówno po stronie operatorów handlowych (OH lub OTH) poprzez optymalizację kontaktowanej energii jak i po stronie odbiorców – optymalizacja kosztów zakupu energii.

Aktualizacja analizowanych profili standardowych ze względu na coraz lepszą dostępność do danych umożliwia coraz lepsze odwzorowanie zmienności obciążeń, przy czym najlepsze odwzorowanie rzeczywistych odbiorców otrzymano dla profilu standardowego O, co wynika z dużej przewidywalności ich pracy.

W miarę zwiększania grupy odbiorców uzyskiwano większe wartości współczynnika korelacji obciążeń rzeczywistych z profilem standardowym, odpowiednim dla danego typu odbiorców.

Z punktu widzenia tworzenia i funkcjonowania klastrów energii możliwe jest wykorzystywanie opracowanych przez danego OSD standardowych profili obciążeniowych zarówno dla grup odbiorców z taryf C1x jak i C21.

Tworzenie docelowej struktury klastra energii wymagać także będzie bieżącej informacji o odbieranej mocy dla zapewnienia równowagi lokalnie w klastrze energii elektrycznej. Rozdzielczość pomiarowa na poziomie jednej godziny jest w tym celu niewystarczająca.

Dostępność do danych licznikowych o godzinowym zużyciu energii elektrycznej umożliwia odbiorcom (świadomym) optymalizację grupy taryfowej zapewniającą minimalizację kosztów dostaw usługi dystrybucji i energii elektrycznej.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Tauron Dystrybucja S.A.: Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, tekst jednolity z dnia 16.07.2018 r.
2. Tauron Dystrybucja S.A.: Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, tekst jednolity z dnia 14.01.2019 r.
3. [http://dp.utp.edu.pl/wyklady/sas\\_cw9.pdf](http://dp.utp.edu.pl/wyklady/sas_cw9.pdf).

### ANALYSIS OF LOAD PROFILES OF RECEIVERS IN THE LOW VOLTAGE GRID

The energy clusters created in the idea of operation should aim to balancing electricity in their area of operation in the long-term (energy balancing) and short-term (balancing power) perspective. This requires, among others, a very good recognition of the variability of the power received and generated in the cluster, as well as the regulatory capabilities of the devices to ensure balancing. The correlation of standard profiles of the selected OSD with the actual load runs of various types of municipal customers was checked.

The paper presents the analyses of real profiles of various types municipal loads compared to standard profiles. The influence of the last update of selected standard profiles on their correlations with the actual loads of the analyzed recipients was also checked. The results of analyzes can be useful in creating an energy cluster to provide balancing electricity in their area of operation.

**Keywords:** standard profiles, LV loads, load curves.