

Moce szczytowe a współczynniki jednoczesności

Weryfikacja normy SEP E-002 w oparciu o dane pomiarowe z inteligentnych liczników konsumenckich dla osiedli mieszkaniowych oraz budynków wielorodzinnych

Autorzy: Łukasz Maciąg, Piotr Dukat - innogy Stoen Operator

Sławomir Bielecki, Tadeusz Skoczkowski - Politechnika Warszawska

(„Energia Elektryczna” – 7/2020)

Projektowanie instalacji elektrycznych oraz szacowanie zapotrzebowania na moc dla budynków wiąże się ze stosowaniem norm oraz przepisów, które powinny być wyznacznikiem doboru optymalnych wielkości mocy zarówno dla poszczególnych lokali, jak i całych budynków. Wraz z postępem energetyki kolejne normy i przepisy zastępowane były bardziej aktualnymi, dostosowanymi do ówczesnych realiów, tak aby nadążyć za rozwijającymi się nowymi technologiami oraz zmieniającymi się trendami w użytkowaniu energii elektrycznej.

Patrząc historycznie, w Polsce do 1995 roku moc zapotrzebowana ustalana była na podstawie Przepisów Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych [1] uaktualnionych w 1997 roku. W 2003 roku ukazała się norma N SEP-E-002 [2] będąca adaptacją standardu stosowanego w Niemczech, datowanego na koniec lat 90. ubiegłego wieku. Wynika z tego, że od około 20-30 lat branża energetyczna korzysta z normy, która stworzona została w realiach powszechnego stosowania ogrzewania elektrycznego, podgrzewaczy wody i użytkowania sprzętów o niskiej klasie energetycznej.

Norma N SEP E-002 operuje na wartościach współczynników jednoczesności k_j i mocy zapotrzebowanej pojedynczego mieszkania. Podawane tam wartości należy traktować jako wymóg minimalny. Przyjęte w normie parametry uzasadniane były analizą mocy urządzeń użytkowanych w mieszkaniu, możliwością jednoczesnej pracy poszczególnych grup odbiorników oraz cieplnych stałych czasowych i krzywych nagrzewania się przewodów w instalacji.

Obserwacje praktyczne sieci, na podstawie danych pomiarowych uzyskiwanych w ostatnich kilku latach, wskazują na niedociążenie stacji SN/nn w sieciach miejskich i przeszacowania wnioskowanych mocy przyłączeniowych (moc obiektu określana jest we wniosku przez klienta/inwestora i zatrudnionych przez niego projektantów). Biorąc pod uwagę obciążenie transformatorów SN/nn w stacjach oraz linii kablowych nn, których parametry dobierane były do mocy przyłączeniowych budynków bilansowanych na podstawie normy SEP [2], możemy zauważyć, że obciążają się one do poziomu wynoszącego około 50 proc. wartości mocy znamionowych. W związku z tym, w innogy Stoen Operator od początku 2017 roku funkcjonują współczynniki korygujące, pozwalające na projektowanie sieci w sposób odpowiadający spodziewanym obciążeniom. Współczynniki te wyznaczono opierając się na analizie obciążeń stacji SN/nn przy wykorzystaniu liczników bilansujących, a szczegóły analizy zawarto w artykule

„Bilansowanie mocy a rzeczywiste zapotrzebowanie – analiza i wnioski. Przyłączanie osiedli mieszkaniowych i budynków wielorodzinnych” [3]. Obserwacje i wnioski wynikające z analizy pomiarów z liczników bilansujących postanowiliśmy rozszerzyć o dalsze, dokładniejsze badania opierając się na danych pomiarowych pozyskanych z konsumenckich liczników inteligentnych zainstalowanych w sieci innogy Stoen Operator po 2005 roku w jednej z dzielnic Warszawy, gdzie moc zapotrzebowana bilansowana była na podstawie normy SEP E-002. Lokale stanowiące grupę badawczą to mieszkania, obiekty handlowo-usługowe mieszczące się na osiedlach mieszkaniowych w budynkach wielorodzinnych, gdzie próżno szukać urządzeń przeznaczonych do elektrycznego podgrzewania wody, a coraz częściej inwestuje się w oświetlenie LED oraz odbiorniki o najwyższej klasie energetycznej. Warto nadmienić, że nowoczesne budownictwo charakteryzuje się rezygnacją z instalacji gazowych na rzecz uwzględniania w bilansie mocy zapotrzebowanej kuchni indukcyjnych, co zgodnie z logiką powinno mieć również wpływ na kształtowanie się współczynników jednoczesności. To właśnie zmieniające się potrzeby bytowe determinują w głównej mierze sposób użytkowania energii elektrycznej, co może oznaczać konieczność rewizji stosowanych obecnie metod bilansowania mocy.

Cel analizy

Celem opracowania było przeanalizowanie danych pomiarowych rzeczywistych obciążeń odbiorców zasilanych z elektroenergetycznej miejskiej sieci dystrybucyjnej pod kątem możliwości wyznaczenia szczytowego zapotrzebowania na moc odbiorców w budynkach mieszkalnych i mieszkalno-usługowych oraz zdefiniowanie nowych współczynników jednoczesności k_j i zestawieniu ich ze współczynnikami z normy N SEP E-002. Odpowiednia weryfikacja wyników analizy oraz wnioski z założenia miały doprowadzić do właściwego bilansowania mocy przyłączeniowych i w konsekwencji optymalnego projektowania sieci SN i nn dla nowych inwestycji.

Dane wejściowe. Założenia do analizy

Obiektem analiz były dane pomiarowe 1-godzinne całorocznych obciążeń wybranych obiektów. Dane prezentowały pobory energii przez pojedynczych odbiorców z taryfy G11, taryfy C i odbiorów administracyjnych, zliczane w 1-godzinnych interwałach w kWh (energia czynna) oraz w kvarh (energia bierna – oddzielnie pojemnościowa i indukcyjna).

Wykorzystano dane pomiarowe zebrane z liczników inteligentnych zainstalowanych na osiedlach mieszkaniowych w budynkach wielorodzinnych mieszkalno-usługowych powstałych po 2005 roku. Mając na uwadze cel analizy, tj m.in. weryfikację współczynników jednoczesności, w [2] odbiorców grupy G11 tak dobrano, żeby lokale zakwalifikowane do tej grupy zasilane były instalacją trójfazową z określoną w bilansie budynku mocą przyłączeniową w przedziale 12,5-15 kW (zabezpieczenie 25A). Przygotowano zestawy danych o obciążeniach za 2018 rok 12128 odbiorców z trzech grup taryfowych, uśredniane w 1-godzinnych odstępach. Pełny zestaw danych składał się więc z 12128 rekordów po 8760 wartości. Pomiary dotyczyły odpowiednio: 7671 odbiorów z taryfy G11, 1657 z taryfy C i 2800 odbiorów administracyjnych. Dane nie obejmowały informacji dodatkowych o odbiorcach, jak np. metraż gospodarstwa.

Wstęp do analizy

Do dalszych analiz, w celu odrzucenia wartości skrajnych pomiarów, dla każdej z grup (taryfa G11, taryfa C, odbiory administracyjne) wybrano zbiory obejmujące po 90 proc. pierwotnej liczebności rekordów z obciążeniami odbiorców. Wzorując się na podejściu opartym na poziomie istotności statystycznej według R. Fishera (m.in. w celu eliminacji grubych błędów) odrzucono po 5 proc. rekordów z odbiorcami o najniższych i po 5 proc. z najwyższymi z zarejestrowanych obciążeń szczytowych. Dla tak otrzymanych nowych zestawów $\{Z_G, Z_C, Z_A\}$ sporządzono profile roczne obciążeń mocą czynną oraz mocą pozorną.

Wyznaczona moc pozorna obciążenia odbiorcy, uśredniona w 1-godzinny interwał czasowy, uwzględnia większe z obciążeń mocą bierną indukcyjną i pojemnościową zarejestrowane w tym samym 1-godzinny interwale zgodnie z zależnością (1):

$$S(\Delta t) = \sqrt{P(\Delta t)^2 + \max[Q(\Delta t)_{ind}^2; Q(\Delta t)_{poj}^2]}$$

gdzie: S – moc pozorna uśredniona w interwale;

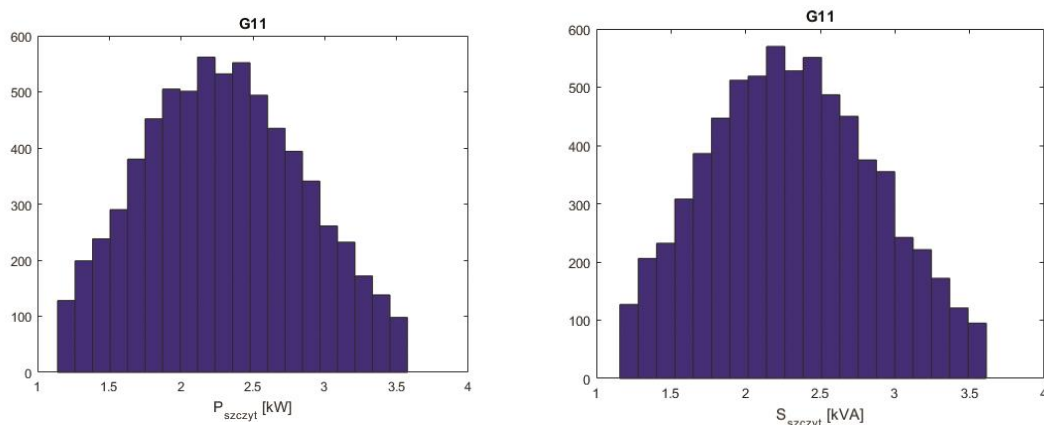
Δt – interwał (1 h);

P – moc czynna uśredniona w interwale;

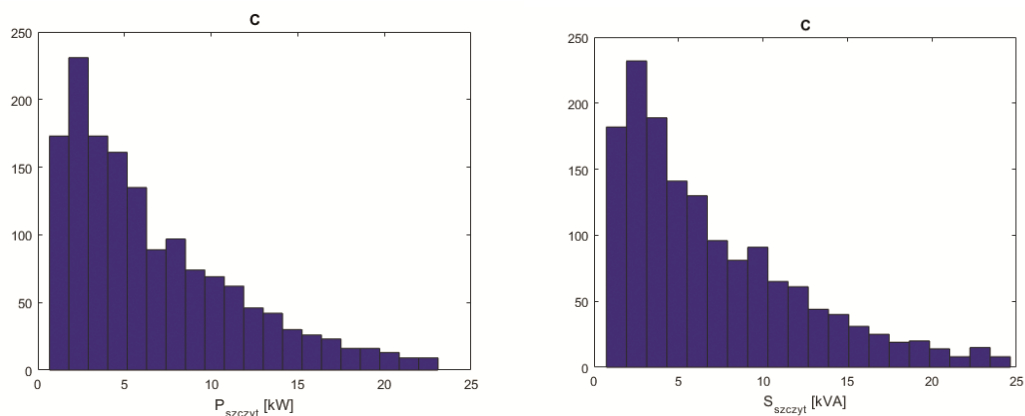
Q_{ind} , Q_{poj} – moc bierna, odpowiednio indukcyjna i pojemnościowa uśredniona w interwale;

$\max[\dots]$ – operator wyznaczający największą wartość z szeregu.

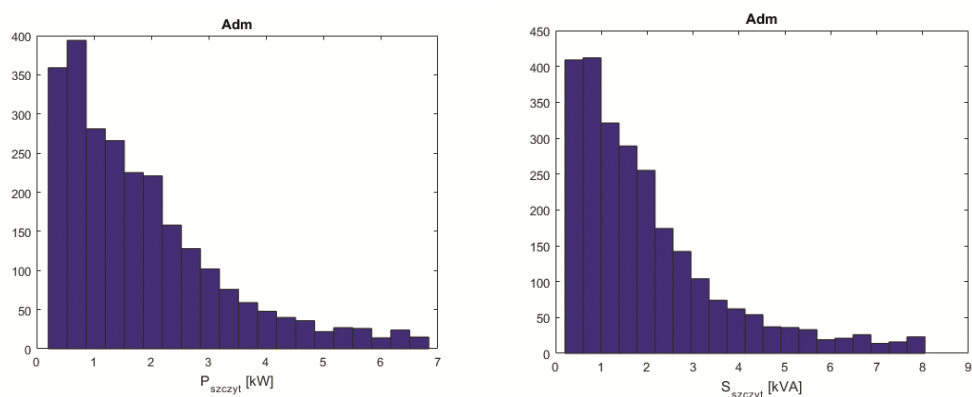
Uzyskano w ten sposób informację o potencjalnie możliwym obciążeniu maksymalnym mocą czynną, w tym z uwzględnieniem wariantu największego zapotrzebowania na moc bierną, zwiększającego obciążenie prądowe (moduł prądu) odcinków zasilających odbiory (rysunki 1, 2 i 3).



Rys. 1. Histogram wartości szczytowych mocy czynnej P_{szczyt} i pozornej S_{szczyt} odbiorców z taryfy G11 (zbiór Z_G)



Rys. 2. Histogram wartości szczytowych mocy czynnej P_{szczyt} i pozornej S_{szczyt} odbiorców z taryfy C (zbiór Z_C)



Rys. 3. Histogram wartości szczytowych mocy czynnej P_{szczyt} i pozornej S_{szczyt} odbiorców administracyjnych (zbiór Z_A)

Analiza – opis metodologii

W celu wyznaczenia reprezentatywnych wartości współczynników jednoczesności zastosowano wielokrotnie powtarzany dobór losowy jako symulowane realizacje struktury zasilanych odbiorców. Podejście to wykorzystuje ideę bootstrappingu, która była już w przeszłości wykorzystywana do wyznaczania współczynników k_j [4].

Przyjęta w analizie metodyka działania polegała na wielokrotnym, powtarzanym losowaniu próbek jednakowego rozmiaru z populacji. Populacja ta reprezentowana jest przez zbiór danych pomiarowych obejmujących 1-godzinne obciążenia mocą z okresu jednego roku dotyczące wybranych odbiorców. Wspomniany zbiór danych, obejmujący opomiarowanych odbiorców, stanowi próbę pierwotną i dotyczy pomiarów przeprowadzonych wśród odbiorców z grupy G11, C oraz administracyjnych. Próba pierwotna składała się więc z rekordów, gdzie każdy z nich obejmował kompletne dane pomiarowe odbiorcy z 2018 roku. Próby bootstrapowe zaś to zestawy danych o obciążeniach wylosowanych odbiorców z próby pierwotnej.

Dla każdej z konfiguracji liczebności odbiorców poszczególnych typów (o przyjętej liczebności N_G , N_C , N_A – odpowiednio dla odbiorców z taryfy G11, taryfy C i odbiorów

administracyjnych) pięć tysięcy razy losowano próby wtórne, tworząc zestaw pięciu tysięcy wirtualnych obiektów składających się z $N_G + N_C + N_A$ odbiorców. Przyjęta liczba powtórek cyklu zapewniła realizację wyboru każdego z pojedynczych odbiorców z równym prawdopodobieństwem. Na podstawie losowanych prób wtórnych wyznaczono parametry statystyczne, reprezentujące wartości szacowanych współczynników jednoczesności.

Na potrzeby weryfikacji współczynników jednoczesności zawartych w normie SEP E-002 oraz w celu wyznaczenia współczynników jednoczesności dla pozostałych grup C i odbiorów administracyjnych, zarówno dla pojedynczych, jak i mieszanych grup odbiorów przyjęto następujące założenia:

Dla pojedynczych grup odbiorców do obliczeń przyjęto następujące szeregi liczebności:

(2)

$N_G = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400\}$

$N_C = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20\}$ $N_A = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$

Dla elementów sieci zasilających grupy odbiorów o charakterze mieszanym obliczenia symulacyjne wykonano dla kombinacji liczb z następujących szeregów:

(3)

$N_G = \{50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300\}$

$N_C = \{0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20\}$

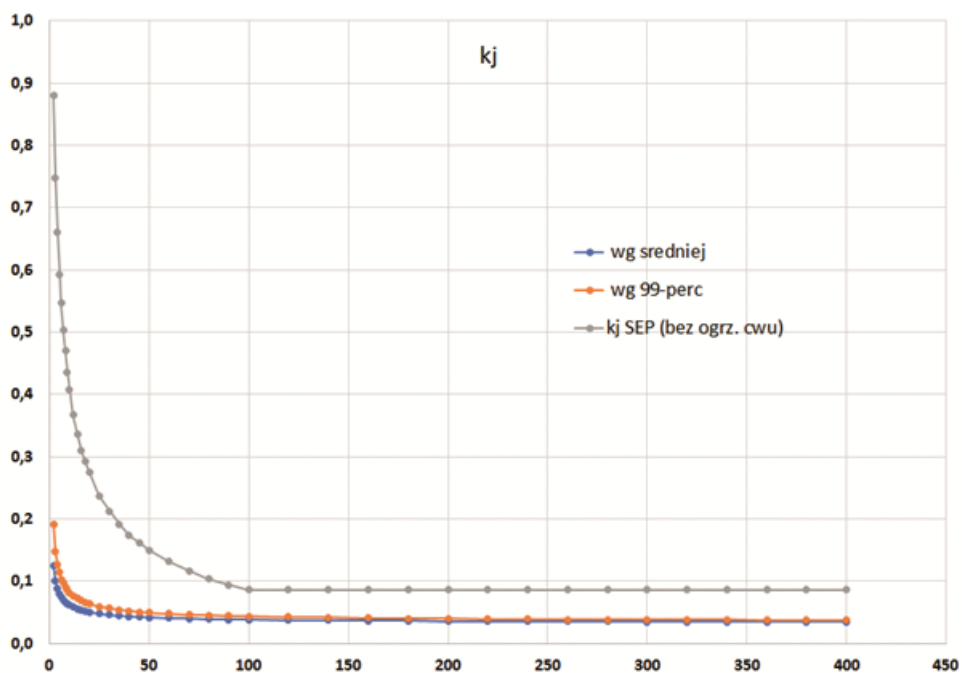
$N_A = \{1, 2, 4, 6, 8, 10\}$

Otrzymane wyniki

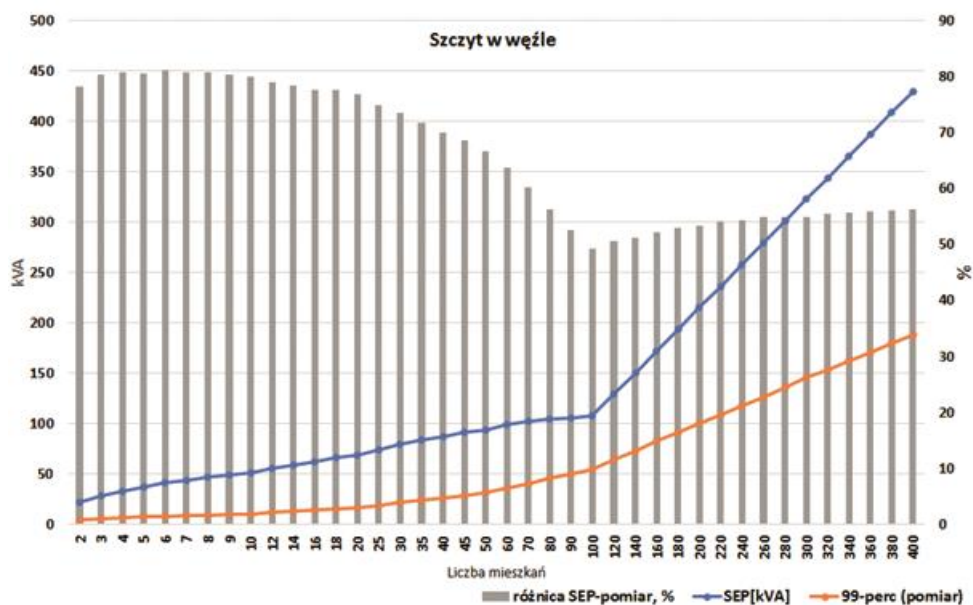
Na wykresach przedstawiono wyniki symulacji współczynników jednoczesności dla odbiorców grupy G11 w zestawieniu ze współczynnikami jednoczesności określonymi przez normę N SEP E-002. Na potrzeby głębszej analizy zasymulowano również współczynniki jednoczesności dla grup odbiorców z taryfy C oraz odbiorów administracyjnych, jednak nie przedstawiamy ich w niniejszym artykule z uwagi na fakt, że norma N SEP E-002 współczynników jednoczesności dla takich odbiorów nie określa.

Z uwagi na konieczność zachowania odpowiedniej ostrożności szacowań, jako reprezentatywne wielkości współczynnika przyjęto te oparte na 99-percentylu mocy szczytowej pozornej.

Taryfa G11:



Rys. 4. Wyznaczone wartości współczynnika jednoczesności k_j względem mocy bazowej jednego mieszkania 12,5 kVA na podstawie wartości średniej i 99-percentyli mocy pozornej zbioru odbiorców taryfy G11 w funkcji liczby mieszkań. Na wykres nałożono odpowiednie współczynniki według normy SEP [2]



Rys. 5. Wartości mocy szczytowej pozornej w kVA szacowane według normy SEP [2] i 99-percentyle wartości wynikające z danych pomiarowych (lewa oś wykresu) oraz wykres słupkowy względnych różnic między tymi wartościami w procentach (prawa oś wykresu)

Uzyskane współczynniki jednoczesności przy założeniu wartości mocy zapotrzebowanej przez jedno mieszkanie 12,5kVA są istotnie niższe od podawanych w standardzie SEP [2]. Obliczenia oparte na współczynnikach według [2] prowadzą do przeszacowania wartości mocy pozornej szczytowej uśrednionej w 1-godzinny interwał względem wartości wynikających z danych pomiarowych o około 50-80 proc. (rysunek 5). Szukając przyczyn tak dużych różnic, stwierdziliśmy, że kluczowe staje się przyjęcie odpowiedniej wartości mocy zapotrzebowanej dla jednego odbiorcy. Standard SEP [2] sugeruje dla taryfy G11 wartość 12,5 kVA (dla mieszkań bez elektrycznego podgrzewania wody). W taryfie G11 według analiz danych pomiarowych, po wyeliminowaniu 10 proc. wielkości skrajnych, wartość średnia mocy szczytowej wyniosła 2,3 kVA, co praktycznie jest równe medianom, zaś 99-percentyl wyniósł 3,5 kVA.

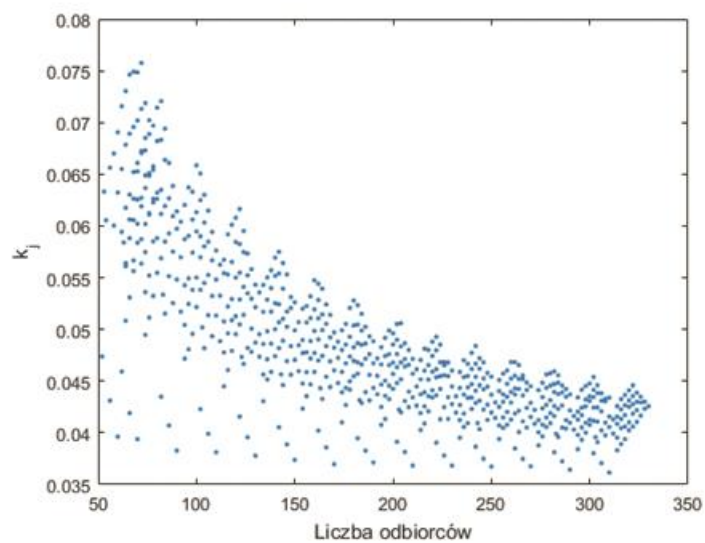
Co ciekawe, przyjmując niższą wartość mocy zapotrzebowanej przez jedno mieszkanie niż według standardu SEP [2], współczynniki jednoczesności liczone wprost z definicji tego pojęcia okażą się wyższe niż podawane w normie [2], generalnie jednak, uwzględniając moc szczytową odcinka zasilającego N odbiorców, przy założeniu mocy 12,5 kVA, współczynniki w standardzie SEP [2] są znacznie przeszacowane.

Zaprezentowano jedynie wykres dla mocy pozornej z uwagi na fakt, że różnica między współczynnikami wyznaczonymi na podstawie wartości mocy pozornej i mocy czynnej jest praktycznie mało istotna, kilkuprocentowa. Wartości oparte na mocy pozornej są większe od tych dla mocy czynnej, dlatego, biorąc pod uwagę możliwość późniejszego wykorzystania „nowych współczynników jednoczesności” na potrzeby np. bilansowania mocy budynku mieszkalnego, bezpieczniej przyjąć wartości oparte na mocy pozornej.

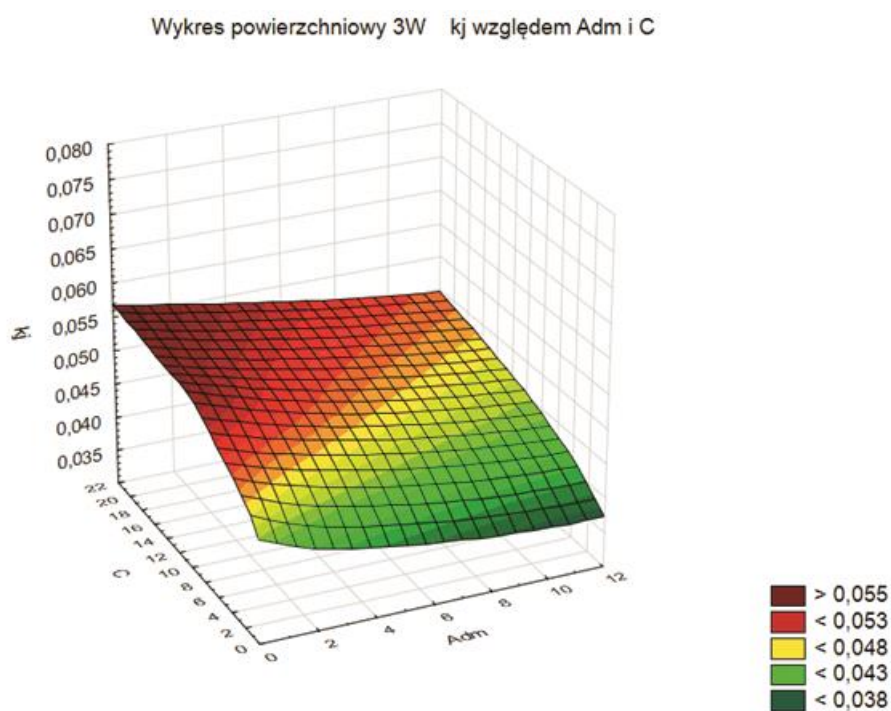
Odbiory mieszane, odbiory taryfy G11, C i administracyjne

Opierając się na oszacowanych wartościach mocy szczytowych na podstawie 99-percentyli z prób dla odcinków zasilających odbiorców różnych typów, wyznaczono współczynniki jednoczesności przy różnych konfiguracjach zestawu odbiorców. Jako wartości bazowe mocy (moc zapotrzebowana pojedynczego odbiorcy) przyjęto: 12,5 kVA dla odbiorców z taryfy G11, 50 kVA taryfy C i 50 kVA – administracyjnych. Dla rozważanych liczebności odbiorców określonych szeregami (3), współczynniki przyjmowały wartości od 0,036 do 0,075 (rysunek 6).

Na rysunkach 7, 8 i 9 zaprezentowano trend kształtowania się wartości współczynników k_j uzyskany poprzez aproksymację punktów reprezentujących wartości współczynników w postaci powierzchni.

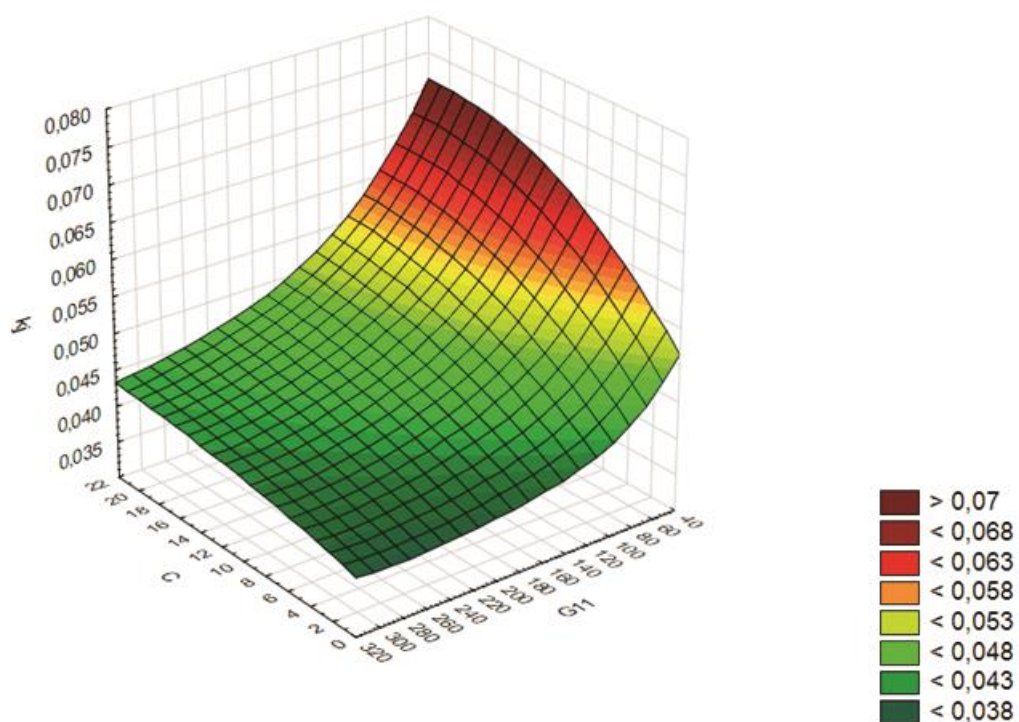


Rys.6. Wyznaczone współczynniki jednoczesności k_j przy różnych konfiguracjach liczebności odbiorców taryfy G11, C i administracyjnych w relacji do łącznej liczby tych odbiorców.



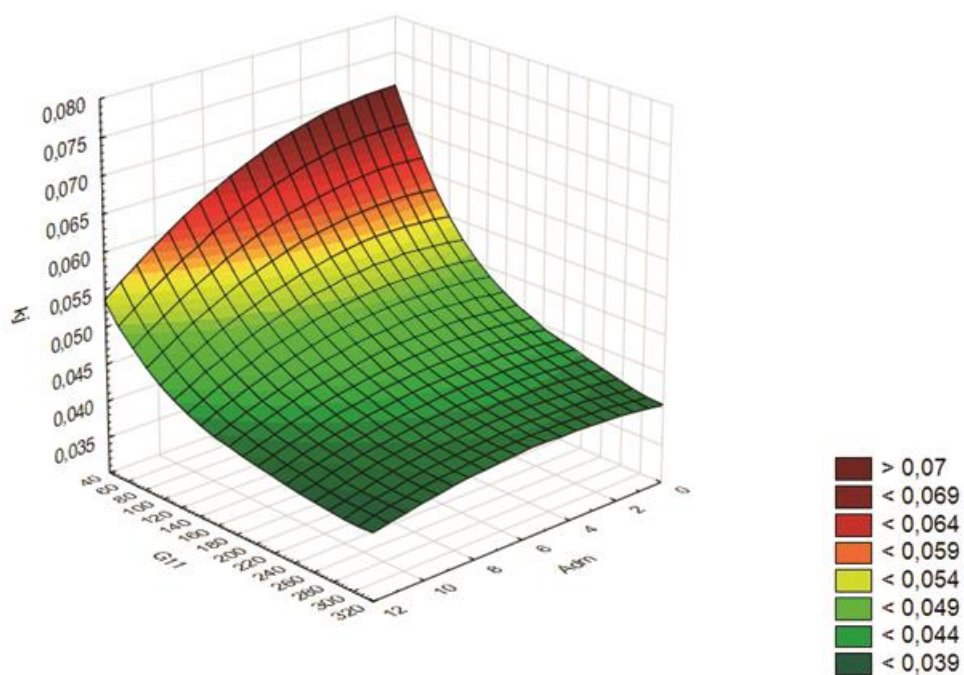
Rys.7. Powierzchnia aproksymująca wyznaczone współczynniki jednoczesności k_j przy różnych konfiguracjach liczebności odbiorców w relacji do liczby odbiorców taryfy C i administracyjnych.

Wykres powierzchniowy 3W k_j względem C i G11



Rys.8. Powierzchnia aproksymująca wyznaczone współczynniki jednoczesności k_j przy różnych konfiguracjach liczebności odbiorców w relacji do liczby odbiorców taryfy G11 i C

Wykres powierzchniowy 3W k_j względem Adm i G11



Rys.9. Powierzchnia aproksymująca wyznaczone współczynniki jednoczesności k_j przy różnych konfiguracjach liczebności odbiorców w relacji do liczby odbiorców taryfy G11 i administracyjnych.

Przyjmując moc zapotrzebowaną w wysokości 12,5 kVA i 50 kVA odpowiednio dla odbiorców taryfy G11 i odbiorów taryfy C oraz administracyjnych, szacowanie mocy szczytowej odcinka zasilającego zespół odbiorców, składających się z odbiorców G11 w liczbie powyżej 50 i pojedynczych odbiorców taryfy C oraz administracyjnych, może opierać się na sumie odpowiednich krotności mocy zapotrzebowanych (wynikających z liczebności poszczególnych grup odbiorców) i współczynnika jednoczesności o wartości poniżej 0,1.

Opierając się na wynikach analizy dla mieszanej grupy odbiorców, możemy stwierdzić z całą stanowczością, że bilanse mocy tworzone przez projektantów na etapie składania wniosków o przyłączenie dla budynków wielorodzinnych to jedynie podstawa do określenia rzeczywistej mocy przyłączeniowej, patrząc od strony wpływu ich załączenia na obciążenie sieci. Należy pamiętać, że bilanse mocy tworzone są obecnie w taki sposób, iż moce przyłączeniowe dla odbiorów mieszkalnych, usługowych oraz administracyjnych sumowane są wprost, bez uwzględnienia dodatkowych czynników mających wpływ na wielkość mocy przyłączeniowej obiektu, np. mijanie się szczytów. Wykorzystując dodatkowe współczynniki jednoczesności pomiędzy poszczególnymi grupami odbiorów, na etapie tworzenia technicznych warunków przyłączenia jesteśmy w stanie planować sieć w sposób lepiej zwymiarowany oraz optymalizować w ten sposób budżet inwestycyjny.

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiliśmy analizę danych pomiarowych obciążeń mocą wśród odbiorców mieszkaniowych (taryfa G11), handlowo-usługowych (taryfa C) i odbiorów administracyjnych. Podstawowym celem była weryfikacja prawidłowości doboru współczynników jednoczesności podawanych w N SEP-E-002 [2] dla odbiorców mieszkaniowych w budynkach wielorodzinnych oraz opracowanie zbioru „nowych” współczynników zarówno dla odbiorców grupy G11, jak i grupy odbiorów o różnym charakterze (taryfa G11, C i odbiory administracyjne).

Szacowanie wartości szczytowych według zaleceń standardu SEP [2] wyraźnie przeszacowuje wartości zaobserwowane w wyniku analizy pomiarów dla analogicznych przypadków (reprezentowanych przez 99-percentyle z odpowiednio licznych prób losowych ze zbioru danych pomiarowych, po wyeliminowaniu najbardziej skrajnych przypadków). Wybór parametru w postaci 99-percentyli podyktowany był ostrożnością i charakterem zadania. Z tych samych powodów wykorzystano dane o obciążeniu mocą pozorną jako liczbowo większe od obciążeń mocą czynną. Aby osiągnąć obserwowane (obecnie mierzone) poziomy 1-godzinnej mocy szczytowej, jakie pojawiły się w ciągu roku, przy pozostawieniu wielkości 12,5 kVA mocy zapotrzebowanej przez jedno mieszkanie (według [2]), współczynniki jednoczesności powinny być od dwóch do pięciu razy niższe w zależności od liczby lokali. Należy jednak pamiętać, że analizowane dane pomiarowe były uśrednione w 1-godzinnych interwałach, więc możliwe są kilkuminutowe skoki zapotrzebowania na moc odpowiadające kilkukrotnościom cieplnych stałych czasowych dla przewodów o niższych przekrojach, co może mieć istotny, negatywny wpływ. W innogy Stoen Operator, projektując sieć na potrzeby zasilania budynków wielorodzinnych czy osiedli mieszkaniowych, stosujemy kable nn o znacznych przekrojach, o wysokiej cieplnej stałej czasowej,

co pozwala nam na przyjęcie wartości średnich 1-godzinnych i stosowanie dodatkowych współczynników korekcyjnych dla optymalnej rozbudowy sieci.

Można zastanowić się, czy powyższe wyniki badań mogłyby być reprezentatywne dla odbiorców innych OSD. Z jednej strony dane wejściowe pochodziły z wybranego obszaru miejskiego i nie muszą być charakterystyczne dla innych rejonów Polski, jednak z dużą dozą prawdopodobieństwa możemy stwierdzić, że wyniki byłyby podobne po analizie danych z liczników inteligentnych dla odbiorców zamieszkujących nowoczesne osiedla mieszkaniowe w innych dużych miastach, przy podobnych założeniach dotyczących roku budowy i mocy przyłączeniowych. Wynika to z faktu, że dzisiejsze mieszkania w ogromnej większości wyposażane są w podobne sprzęty o wysokiej klasie energetycznej, a obiekty powstałe w tzw. nowym budownictwie nie były projektowane z myślą o wykorzystaniu energii elektrycznej na potrzeby związane z ogrzewaniem czy podgrzaniem wody. Także zachowania bytowe, wynikające m.in. ze zbliżonego stylu życia odbiorców, powinny być podobne.

Przeprowadzona analiza jednoznacznie udowadnia, że przyjęte w 2017 roku przez innogy Stoen Operator współczynniki korekcyjne dla bilansów mocy budynków wielorodzinnych oraz osiedli mieszkaniowych dostarczane na etapie wniosku o przyłączenie były zasadne. Współczynniki korekcyjne dla stacji i kabli dobrano wówczas w sposób bezpieczny (z zachowaniem minimum kilkunastoprocentowych zapasów [3]), a uwzględniając wyniki niniejszej pracy, nawet zbyt bezpieczny, dlatego obecnie jesteśmy na etapie jego ponownej weryfikacji. Ciekawym eksperymentem oraz cennym źródłem informacji dla optymalizacji współczynnika korekcyjnego będzie trwająca obecnie analiza współczynników jednoczesności dla tej samej grupy odbiorców w okresie tzw. Lockdownu spowodowanego pandemią koronawirusa. Intuicja podpowiada, że z racji tego, iż większość z nas pozostawała w domach, jednoczesność oraz wynikające z niej wartości współczynników mogą przyjąć wyższe wartości. Naszym zdaniem należy jednak wstrzymać się z oceną, gdyż pełny obraz otrzymamy dopiero po przeprowadzeniu pełnej analizy i opracowaniu konstruktywnych wniosków, którymi z pewnością podzielimy się w kolejnym artykule dotyczącym współczynników jednoczesności i normy N SEP E-002.

Literatura:

[1] Instytut Energetyki, Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych, Warszawa, Wydawnictwa Przemysłowe WEMA, 1987.

[2] N SEP-E-002. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych. Podstawy planowania, COSiW SEP, 2003.

[3] Ł. Maciąg, „Bilansowanie mocy a rzeczywiste zapotrzebowanie – analiza i wnioski. Przyłączanie osiedli mieszkaniowych i budynków wielorodzinnych”, Energia Elektryczna nr 6/2018.

[4] V. Chatlani, D. Tylavsky, D. Montgomery i M. Dyer, „Statistical Properties of Diversity Factors for Probabilistic Loading of Distribution Transformers,” w IEEE 39th North American Power Symposium (NAPS 2007), 2007.