

Profile obciążenia budynków w aspekcie implementacji lokalnych źródeł energii

Streszczenie. Wszystkie kraje Unii Europejskiej przyjęły postanowienia protokołu z Kioto, co wiąże się także z przyjęciem wydanych w późniejszym okresie dyrektyw unijnych obligujących do intensywnych działań w obszarze redukcji emisji szkodliwych substancji do atmosfery [1]. Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków z 2010 r. [2] wymaga od wszystkich nowobudowanych budynków po 2020 r. poziomu praktycznie prawie zerowego zużycia energii. W artykule przedstawione zostaną obszary pozwalające na spełnienie tych wymagań. Głównie uwaga zostanie poświęcona metodom i celom wyznaczenia profili obciążenia w budynkach mieszkalnych.

Abstract. All the countries of the European Union have adopted the provisions of the Kyoto Protocol, which is also concomitant with the adoption of the union directive released at a later date obliging intensive action in respect to a reduction in the level of harmful substances released into the atmosphere [1]. The 2010 directive for energy performance of buildings [2] requires an nearly zero-energy buildings constructed after 2020. This paper will present factors enabling the fulfillment of these requirements. The focus of attention will be given to the methods and aims of load profile determination in domestic buildings.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, odnawialne źródła energii, bilansowanie energetyczne.

Keywords: energy efficiency, renewable energy, balancing energy.

Wprowadzenie

Polska jako państwo członkowskie UE ratyfikowała Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [2]. Artykuł 9 niniejszej dyrektywy wymaga od wszystkich nowobudowanych budynków po 2020 r. niemal zerowego zużycia energii. W szczególności uwaga zwrócona jest na budynki należące lub zajmowane przez władze publiczne jako te, które dają przykład społeczeństwu. Dla tej grupy budynków jest krótszy termin – rok 2018. Definicja „budynku o niemal zerowym zużyciu energii” opisana jest w artykule 2 pkt. 2 dyrektywy [2] i zwraca uwagę na konieczność używania energii pochodzącej w dużym stopniu z odnawialnych źródeł w tym z energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej lokalnie lub w pobliżu a także zwraca uwagę na wytwarzanie energii w drodze kogeneracji.

Cel jakim jest zminimalizowanie poboru energii z nieodnawialnych źródeł (w Polsce głównie z węgla) o dużej emisyjności substancji szkodliwych do atmosfery (0,89 Mg/MWh), można uzyskać poprzez dwa typy działań:

- pasywne, poprawiające szeroko rozumianą efektywność energetyczną dzięki oszczędności energii
- i aktywne oparte na miejscowym generowaniu i zarządzaniu energią elektryczną.

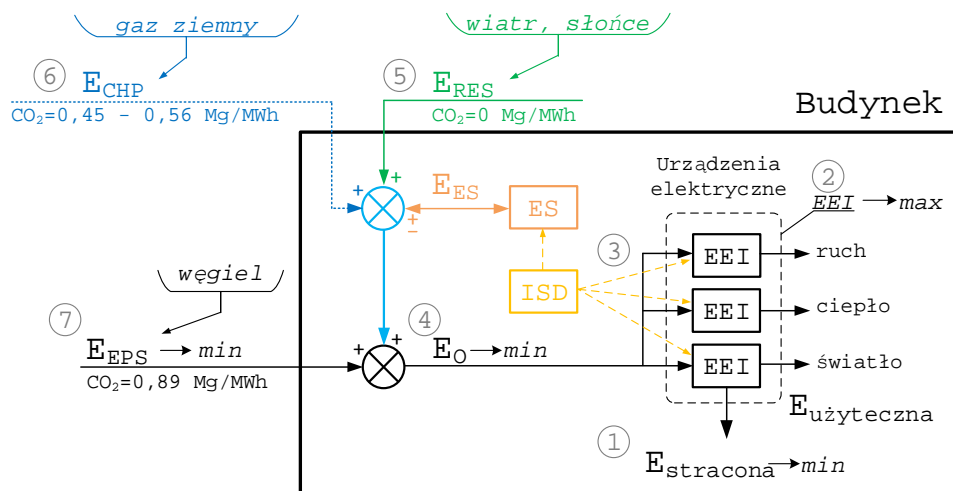
Poprawę efektywności energetycznej można uzyskać głównie poprzez zmianę techniki budowlanej (stosując lepsze materiały izolacyjne w konstrukcji budynków), stosowanie odbiorników energii elektrycznej o wyższej klasie efektywności energetycznej oraz „dobre praktyki” użytkowników (głównie polegające na rozsądnym wykorzystaniu energii). Natomiast zmniejszenie energochłonności elektrycznej budynków do poziomu

niemal zerowego zużycia energii pobieranej z sieci dystrybucyjnej można uzyskać jedynie poprzez miejscową generację energii z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (wiatr, słońce) oraz poprzez stosowanie źródeł kogeneracyjnych ze względu na dostęp do sieci gazowej i możliwość zagospodarowania ciepła odpadowego w systemach budynkowych.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną w budynkach

Aktualnie budynki w Polsce zasilane są głównie energią elektryczną systemową, wytworzoną prawie w 90% z węgla. W artykule przedstawiono obszary za pomocą których można dążyć do zmniejszenia poboru tej energii i tym samym spełnić wymagania dyrektywy unijnej. Na rys. 1 przedstawiony jest uproszczony docelowy schemat rozprawy energii w budynku wielostronnie zasilanym, wykorzystującym zaawansowane technologie zarządzania energią. Działania te polegają na zminimalizowaniu zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwach domowych ($E_O \rightarrow \min$) poprzez:

- stosowanie odbiorników o wysokiej klasie efektywności energetycznej ($E_{EI} \rightarrow \max$),
- mniej energochłonne sterowanie przepływem (energooszczędne silniki, regulacja obrotów pomp, wentylatorów) ($E_{Loss} \rightarrow \min$),
- dobre praktyki użytkowników ($E_{Loss} \rightarrow \min$),
- stosowanie odnawialnych źródeł energii (panele fotowoltaiczne i generatory wiatrowe),
- stosowanie kogeneracji,
- odpowiednie zarządzanie obciążeniami oraz rejestrowanie obciążeń poszczególnych obwodów poprzez Infrastrukturę Sieci Domowej – ISD (ang. Home Area Network - HAN), która pozwoli na precyzyjniejsze określenie profilu obciążenia gospodarstwa domowego i redukcję mocy szczytowej.



Rys. 1. Konfiguracja budynku zawierającego technologie elektryczne zmniejszające zapotrzebowanie na energię pierwotną z wysokoemisyjnych źródeł. E_{CHP} – energia z gazu ziemnego, E_{EPS} – energia z węgla, E_{RES} – energia z odnawialnych źródeł, E_{ES} – magazyn energii, E_O – dzienne zapotrzebowanie na energię, $E_{UZYTECZNA}$ – energia użyta, $E_{STRACONA}$ – energia stracona, E_{EI} – indeks efektywności energetycznej (np. A, A+).

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Jednym z problemów wynikających z użycia odnawialnych źródeł i kogeneracji jest dopasowanie profilu generowanej mocy do profilu obciążenia odbiorcy. Odnawialne źródła energii mają niespokojną charakterystykę mocy, której przyczyną jest zmienne nasłonecznienie i zmienna siła wiatru. Zmiany mocy odbywają się w interwałach nie tylko długo okresowych (miesięcznych, tygodniowych) ale także krótkookresowych (minutowych, sekundowych) i w związku z tym niemożliwe jest dopasowanie profilu generowania mocy z tych źródeł do profilu zapotrzebowania na energię w gospodarstwach domowych, co wiąże się ze stosowaniem magazynów energii i zarządzaniem podziałem energii (obszar nr 3 na rys. 1). Budynek z odnawialnymi źródłami energii może działać jednocześnie przy użyciu źródeł o stabilnej charakterystyce mocy tj. źródeł kogeneracyjnych zasilanych z sieci gazowej, które charakteryzują się znacznie mniejszą emisją szkodliwych substancji niż w przypadku spalania węgla, a generowanie jej miejscowo pozwala na wykorzystanie ciepła odpadowego do ogrzewania budynku. W efekcie sprawność takiego źródła dochodzi do 97%. Źródła te najlepszą sprawność osiągają dla obciążenia 50-100% swojej mocy znamionowej, w związku z tym wymagają dokładnego dopasowania mocy znamionowej źródła w odniesieniu do charakterystyki poboru mocy przez budynek.

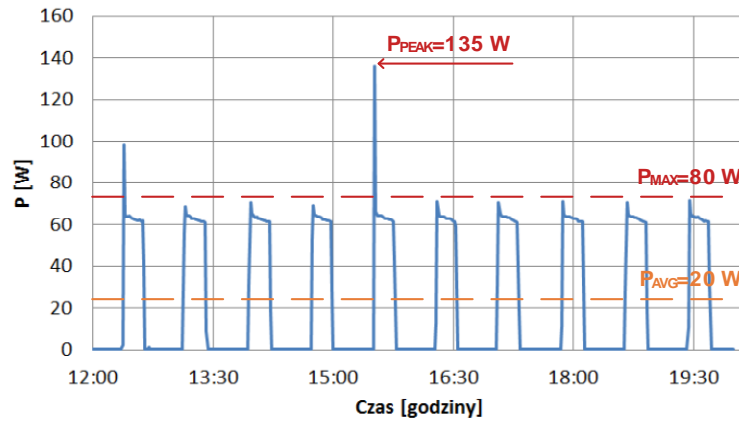
Na charakterystykę obciążenia elektrycznego budynku składa się suma obciążeń poszczególnych urządzeń w danym gospodarstwie domowym. W dużym stopniu sposób działania tych urządzeń i ich alokacja czasowa w ciągu dnia zależy od obecności użytkowników i jest także stymulowana warunkami atmosferycznymi (np. po zachodzie słońca wszyscy włączają światło). Urządzenia domowe dzielą się na:

- włączane głównie podczas obecności użytkowników np. oświetlenie, pralka, czajnik, sprzęt RTV, zmywarka, odkurzacz, żelazko, boiler
- i działające cyklicznie, gdzie wpływ obecności użytkowników ma mniejsze znaczenie np. chłodziarko-zamrażarka.

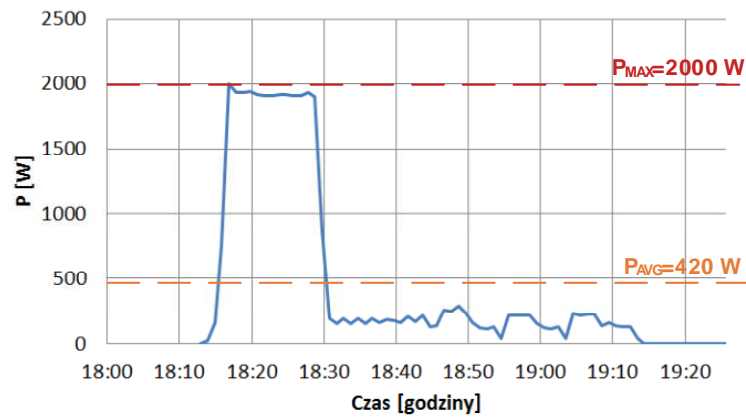
Przykładowe charakterystyki poboru energii przez urządzenia domowe w funkcji czasu z alokacją czasu w ciągu doby przedstawione zostały na rys. 2. Przedstawione odbiorniki mają różny charakter poboru energii:

- chłodziarko zamrażarka (klasa A+) pobiera energię cyklicznie przez całą dobę. Jej moc maksymalna wynosi 80 W.
- Pralka pobiera energię w porze dnia zależnej od użytkownika. Moc pobierana w pierwszym etapie prania (trwającego około 15 min) wynosi 2000 W, a następnie jest na poziomie 200 – 300 W.
- Boiler pojemnościowy (z możliwością intencjonalnego wyłączenia) załącza się w różnych momentach podczas dnia i pobiera moc na poziomie 2000 W. Czas poszczególnych załączeń wynosi od około 6 do 20 minut.

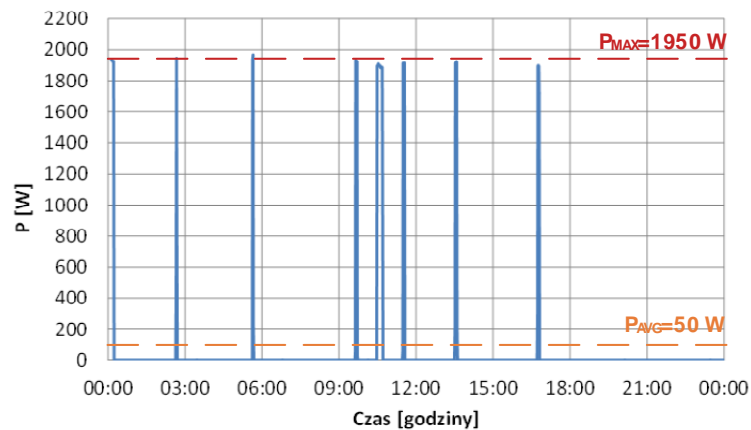
a)



b)



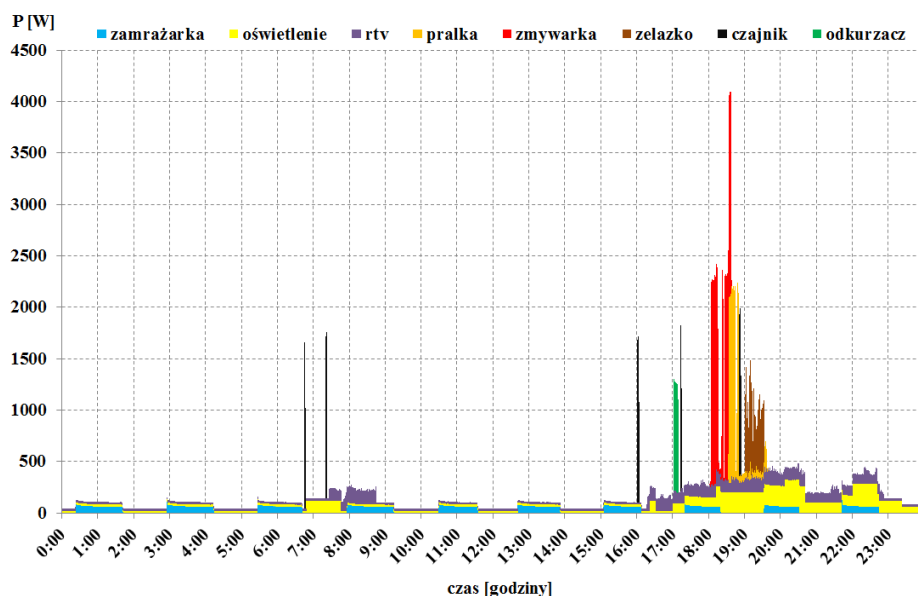
c)



Rys. 2. Przykładowe zmierzone charakterystyki zużycia energii: a) chłodziarko zamrażarki, b) pralki, c) boileru pojemnościowego z intencjonalnym załączaniem.

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

W efekcie suma charakterystyk zużycia energii poszczególnych odbiorników w pojedynczym gospodarstwie domowym prowadzi do otrzymania profilu obciążenia elektrycznego danego lokalu mieszkalnego (rys. 3), który - jak można się spodziewać - ma bardzo nieregularną charakterystykę obciążenia spowodowaną różnymi typami odbiorników i różnym sposobem ich użycia.



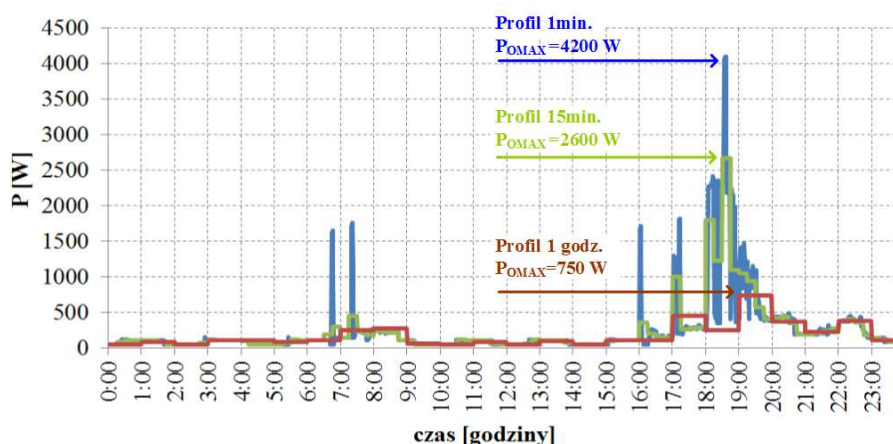
Rys. 3. Przykładowa, zmierzona charakterystyka zużycia energii w gospodarstwie domowym.

Charakterystyka obciążenia elektrycznego i profile obciążenia w budynkach mieszkalnych

Charakterystyka obciążenia elektrycznego w budynkach i jej profil pozwalający jednoznacznie określić czasowy rozkład zużycia energii ma bardzo duże znaczenie przy planowaniu wydajnej pracy systemowych jednostek wytwórczych a także potrzebny jest do optymalnego doboru mocy źródeł rozproszonych dopasowanych do wymagań konkretnego odbiorcy. Jednak do chwili obecnej brak jest układów rozliczeniowych precyzyjnie wyznaczających profil obciążenia. Efektem tego jest stosowanie tzw. profili standardowych, które są wyznaczone na podstawie wieloletnich obserwacji odbiorców z grup taryfowych C i G. Wykorzystanie - w odniesieniu do pojedynczych budynków - tak zmierzonych profili obciążenia jest obarczone błędem statystycznym, który w poszczególnych interwałach doby może przekraczać kilkadziesiąt procent. Powodem tak znaczącego błędu jest informacja pochodząca z profilu standardowego, która odnosi się do dużej próby odbiorców (od kilkunastu do kilkuset tysięcy odbiorców) a nie do pojedynczego mieszkania. Profile te obarczone tak dużym błędem są także używane do wymiarowania układów kogeneracyjnych dla których ważną informacją jest minimalna i maksymalna moc obciążenia, ponieważ – jak już zostało wspomniane wcześniej - zakres regulacji mocy przy której występuje najkorzystniejsza sprawność źródeł kogeneracyjnych mieści się w przedziale 50-100%. Rozwój technologii Smart Grid pozwoli na zastąpienie

istniejących profili standardowych rzeczywistymi pomiarami pochodzącymi z mierników inteligentnych AMI (ang. Advanced Metering Infrastructure), co w bardzo dużym stopniu zmniejsza błędy profilowania.

Warto zwrócić uwagę na to, że błąd w wyznaczeniu mocy maksymalnej wynika już z samego czasu uśredniania pomiarów. Liczniki pomiarowe, które archiwizują zużycie energii dla lokalu mieszkalnego wykonują pomiary w interwałach 15 minutowych lub godzinnych. Na rys. 4 pokazano różnice w wartościach mocy szczytowej dla różnych czasów uśredniania (prawie 6-krotna różnica między profilem minutowym i godzinnym).



Rys. 4. Profile obciążenia dobowego pojedynczego mieszkania dla różnych czasów uśredniania.

Uśrednianie wartości poboru energii ma mniejsze znaczenie z punktu widzenia wymiarowania źródła zasilania dla dużej liczby odbiorców, ponieważ nawet w perspektywie krótkookresowej nałożenie się charakterystyk wielu odbiorców powoduje naturalne rozłożenie w czasie poboru energii redukując także chwilowe szczytowe wartości obciążeń wywołane działaniem głównie urządzeń grzewczych np. boileru (rys. 2c) czy czajnika. Dokładność wyznaczenia profilu obciążenia ma większe znaczenie w przypadku obwodów zasilanych ze źródeł miejscowych pracujących w trybie wyspowym (Off Grid) lub pracujących równoległe z siecią i bilansowanych w czasie rzeczywistym. W obwodach takich potrzebne jest wymiarowanie źródła mocy (układy mikrokogeneracyjne) lub układów sprzęgających źródła odnawialne z siecią, w odniesieniu do mocy maksymalnej. Mając na uwadze małą bezwładność miejscowych źródeł korzystna dla nich jest informacja sekundowa o poborze energii (a nie uśredniona wartość minutowa czy godzinowa).

Profile obciążenia w budynkach mieszkalnych

Profil standardowy nie jest wystarczającą informacją umożliwiającą właściwe dobranie parametrów miejscowych układów wytwórczych energii. Dobowy rozkład zużycia energii pojedynczego odbiorcy nie zawiera w sobie informacji na temat chwilowych wartości mocy.

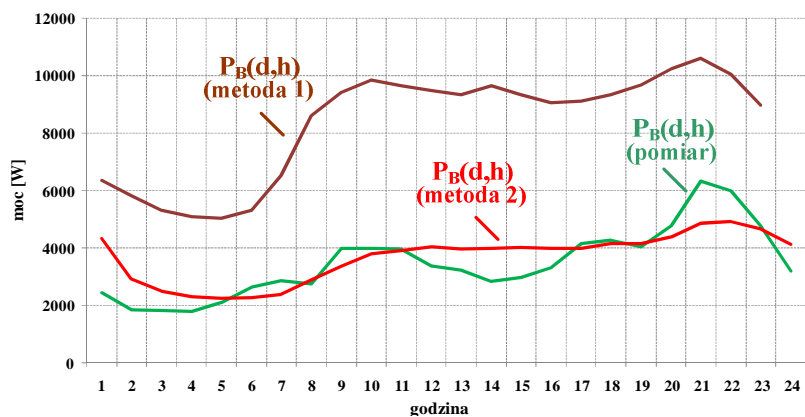
Jedną z metod teoretycznego wyznaczenia profilu obciążenia jest połączenie informacji pochodzących z profilu standardowego i średniego dobowego zużycia energii (uzyskane np. z archiwalnych danych pomiarowych w sezonie poprzedzającym). Wyskalowanie profilu standardowego o średnie dobowe zużycie energii pozwala na dokładniejsze wyznaczenie profilu mocowego danego obiektu. Wadą tej metody jest błąd

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

statystyczny profilu standardowego oraz brak uwzględnienia obwodów administracyjnych (obwody technologiczne, obwody powierzchni wspólnych).

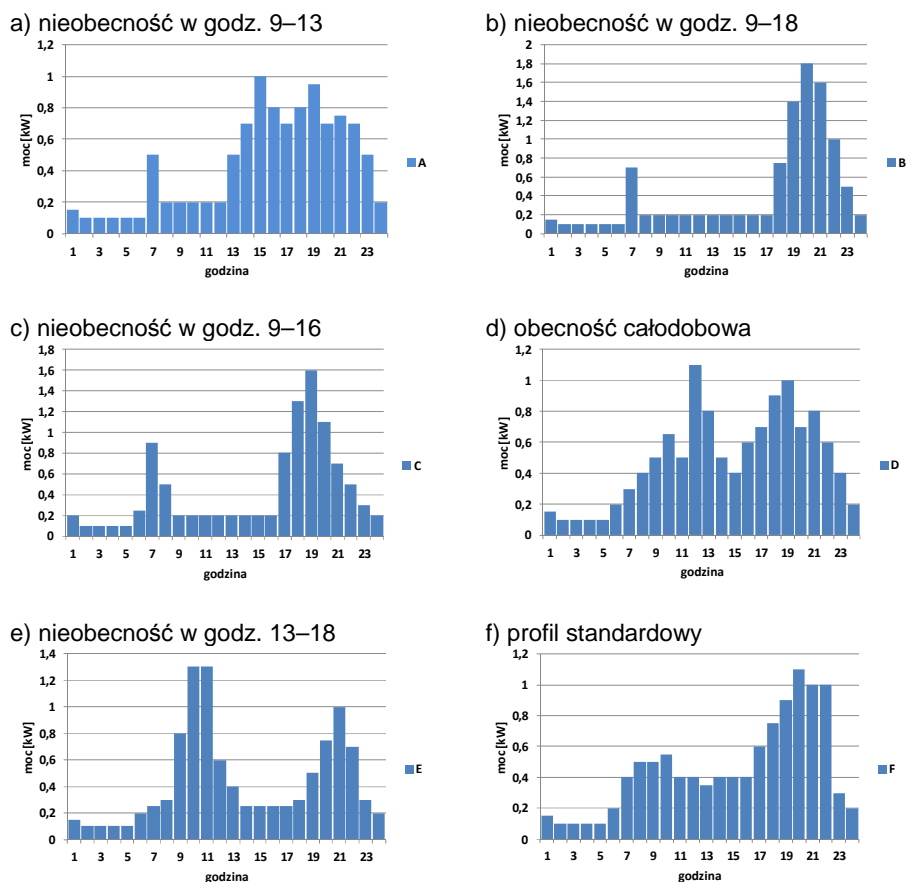
Drugą metodą teoretycznego wyznaczenia profilu obciążenia może być uwzględnienie podczas skalowania profilu standardowego mocy szczytowej P_m , współczynnika jednoczesności [3-4] i obciążenia obwodów administracyjnych. Są to parametry wykorzystywane przy wymiarowaniu instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych.

Wyniki badań [5] pokazują, że najbliższa rzeczywistym pomiarom jest metoda 2. Na rys. 5 zobrazowana jest weryfikacja metod teoretycznych w odniesieniu do rzeczywistych pomiarów.



Rys. 5. Profile obciążenia budynku ($P_B(d,h)$) wyznaczone metodami teoretycznymi i metodą pomiarową.

Pomimo uzyskanej w metodzie 2 dużej zbieżności profilu teoretycznego ze zmierzonym, nadal istnieją chwilowe różnice mocy dochodzące do 30% w obciążeniach godzinowych. Ich powodem jest brak uwzględnienia zmiennego w czasie trybu użytkowania lokalu, który wynika z różnej sytuacji socjologicznej mieszkańców. Wpływ sytuacji socjologicznej na przebieg zmienności profilu obciążenia podobnych pod względem technicznym lokali (wyposażenie, takie samo dobowe zużycie energii) pokazany jest w wynikach badań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii. Rysunek 6 obrazuje wyniki tych pomiarów [6-7]. Uwzględnienie wpływu obecności użytkowników w profilu standardowym pozwoliłoby na dokładniejsze odwzorowanie zmienności obciążenia. Jest to jednak metoda trudna w realizacji ponieważ wymaga długookresowych badań. Na jej tle bardziej korzystną metodą wydaje się metoda pomiarowa.



Rys. 6. Profile obciążenia lokalu mieszkalnego uwzględniające wpływ obecności użytkowników.

Podsumowanie

W związku z wymogami Unii Europejskiej, konieczne jest stosowanie odnawialnych źródeł energii i kogeneracji w budynkowych systemach elektrycznych. Implementacja tych źródeł niesie za sobą potrzebę wyznaczenia dokładnego profilu obciążenia budynku mieszkalnego w celu poprawnego wymiarowania mocy systemowych jednostek wytwórczych, mocy źródeł rozproszonych, które powinny być dopasowane do wymagań konkretnego odbiorcy, oraz w celu doboru optymalnej pojemności magazynów energii. W badaniach (rys. 5, [5]) zostały porównane teoretyczne metody wyznaczenia profili obciążeń z rzeczywistymi pomiarami. W artykule zwrócono także uwagę na różnice wartości mocy szczytowej wynikającej z czasu uśredniania rzeczywistych pomiarów. Mając powyższe na uwadze najlepszą metodą wyznaczenia profilu obciążenia budynku jest metoda pomiarowa z optymalnie krótkim czasem uśredniania. Dalszym etapem badań związanych z implementacją lokalnych źródeł energii jest dobranie algorytmu sterowania podziałem energii w wielostronnie zasilanych systemach budynkowych.

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Ponadto dodatkowym aspektem nie opisywanym w artykule – poza spełnieniem wymogów unijnych - stosowanie energetyki rozproszonej ma pozytywny wpływ na bezpieczeństwo energetyczne [8] polskiego systemu elektroenergetycznego.

Literatura

1. European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions "Analysis of options to move beyond 20% greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage." Brussels, 26.5.2010.
2. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
3. N SEP-E-002, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych. Podstawy planowania.
4. Klajn A., Markiewicz H., *Moc szczytowa budynków mieszkalnych*, „Elektroinstalator”, 9/2008.
5. G. Benysek, M. Jarut, *Energooszczędne i aktywne systemy budynkowe*, Zielona Góra 2013.
6. Zhang T., Siebers P.O., Aickelin U., *Three-Dimensional Model of Residential Energy Consumer Archetypes for Local Energy Policy Design in the UK*, „Energy Policy”, 47, 2012, 102–110.
7. Yao R., Steemers K., *A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK*, „Energy and Buildings”, 37, 663–671.
8. Waldemar Dołęga, *Operatorzy systemów dystrybucyjnych a generacja rozproszona w aspekcie bezpieczeństwa elektroenergetycznego*, i-Mitel 2010.

Autorzy: Mgr inż. Szymon Wermiński, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Elektrycznej, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra E-mail:s.werminski@iee.uz.zgora.pl

Autor jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.