

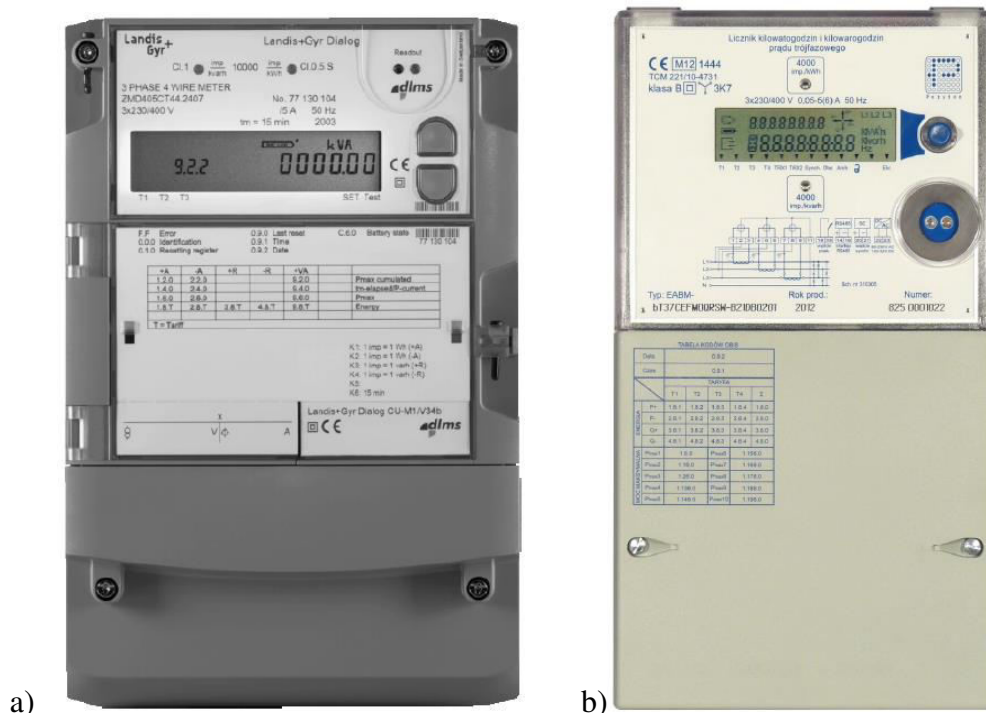
[RAPORT – zapowiedź]

Licznik inteligentny EP wg iLab EPRO

Krzysztof Dębowski*

1. Stan istniejący

Instalowane w ostatnim czasie liczniki energii elektrycznej, ciepła oraz gazomierze i wodomierze są już najczęściej licznikami elektronicznymi z ciekłokrystalicznym wyświetlaczem i zastępują starsze konstrukcje liczników oparte o liczydła mechaniczne. Określane przez producentów jako liczniki inteligentne (smart) wyposażane są w moduły komunikacyjne przystosowane do zdalnej transmisji danych, z reguły w technologii GSM/GPRS. W dalszej części obecne możliwości liczników inteligentnych przedstawiono w odniesieniu do liczników energii elektrycznej, których możliwości pomiarowe i zakres usług są aktualnie najbardziej rozbudowane, ale na przedstawione główne cechy i właściwości należy patrzeć szerzej, odnosząc je do wszystkich mediów podlegających pomiarom rozliczeniowym, co w konsekwencji powinno prowadzić do uniwersalnej konstrukcji licznika multi-mediowego.



Rys. 1. Przykładowe liczniki elektroniczne trójfazowe firm: a) Landis&Gyr [1] b) Pozyton [2]

* dr hab. inż. Krzysztof Dębowski – Instytut Elektrotechniki i Informatyki, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska.

Traktując liczniki energii elektrycznej jako punkt odniesienia można zauważyć, że pomiędzy produktami różnych producentów występują różnice w zakresie oferowanych możliwości pomiarowych i transmisyjnych, ale w ogólnym przypadku można przyjąć, że liczniki elektroniczne energii elektrycznej umożliwiają realizację pomiarów i rejestrację następujących wybranych danych pomiarowych [1], [2]:

- energii czynnej, biernej i pozornej dla dwukierunkowego przepływu energii elektrycznej (pomiar czterokwadrantowy);
- napięć i prądów fazowych,
- mocy czynnej i biernej (w każdej fazie w wersji trójfazowej licznika),
- wyznaczanie całkowitej moc czynnej, biernej i pozornej,
- wyznaczanie współczynnika mocy (również dla każdej z faz w wersji trójfazowej licznika).

Zabudowywane liczniki elektroniczne wyposażone są z reguły w moduły komunikacyjne umożliwiające zdalną transmisję danych pomiarowych (obecnie głównie dla pomiarów półpośrednich i pośrednich) w standardzie pakietowej transmisji danych GPRS w sieci GSM lub opcjonalnie w ramach sieci telefonii stacjonarnej PSTN.

Oferowane na rynku liczniki elektroniczne, rozumiane już jako liczniki inteligentne, wyposażone są w moduły komunikacyjne umożliwiające zdalny odczyt danych. Standardowo liczniki wyposażone są w następujące opcje interfejsów komunikacyjnych:

- interfejs optyczny (zgodny z PN-EN 62056-21),
- interfejs RS485,
- interfejs pętli prądowej (CLO),
- w niektórych rozwiązaniach interfejs M-Bus.

Interfejsy te, po uzgodnieniu z operatorem systemu dystrybucyjnego (OSD), pozwalają na lokalny (dla potrzeb odbiorcy) zdalny odczyt danych pomiarowych z wykorzystaniem oferowanych przez producentów liczników specjalizowanych urządzeń służących do zdalnego odczytu lub za pomocą programów komputerowych instalowanych na komputerach wyposażonych w porty komunikacyjne USB. Ostatni z interfejsów (M-bus) umożliwia odczyt grupy liczników w ramach sieci komunikacyjnej M-bus, stosowany jest w obiektach, w których za pomocą liczników dokonuje się pomiaru zużycia energii elektrycznej przez najemców obiektu (duże budynki biurowe, centra handlowe). Standardowo liczniki wyposażone są również w wyjścia stykowe na napięcia od 12 do 240V AC/DC, umożliwiające sygnalizację zaprogramowanych stanów, np. przekroczeń ustalonych mocy. Przewiduje się, że instalowane obecnie liczniki inteligentne będą wyposażone w moduł zdalnej transmisji danych dla potrzeb OSD również dla pomiarów bezpośrednich, a więc docelowo dla wszystkich pomiarów energii elektrycznej podlegających rozliczeniom.

Na stronach internetowych grup energetycznych udostępniane są informacje, że inteligentny licznik to „licznik energii elektrycznej z wbudowanym systemem komunikacji do systemu informatycznego, który steruje odczytami energii oraz parametrami licznika w zakresie taryf, włączeń, informacji o jakości energii oraz ciągłości dostawy. Wykrywa przerwy w dostawie i automatycznie informuje o tym fakcie centrum dyspozytorskie” [3] lub „Licznik inteligentny pozwala na zdalną wymianę informacji pomiędzy systemem pomiarowym i przesyłowym” [4] a jako korzyści z zainstalowania liczników inteligentnych wymienia się:

- poprawę jakości dostaw energii i jakości parametrów energii;
- ograniczenie zużycia energii - dostosowanie zużycia energii do potrzeb i możliwości finansowych gospodarstwa domowego;
- pełen zakres informacji o zużyciu energii dla końcowego odbiorcy;
- świadome gospodarowanie energią;
- brak wizyty inkasenta - licznik automatycznie przekazuje informacje o zużyciu energii elektrycznej za danych okres,

- szybsze usunięcie awarii - licznik przekazuje również informację o awarii sieci zasilającej;

przy czym podawana jest również od razu informacja, że nie ma możliwości podłączenia komputera do licznika energii elektrycznej [3].

Tak rozumiane inteligentne liczniki energii elektrycznej nie wniosą istotnej zmiany z punktu widzenia odbiorcy energii elektrycznej, bo konstrukcyjnie nie są dostosowane do realizacji nowych czy też przyszłościowych usług związanych z rynkiem energii elektrycznej.

2. Proponowana nowa koncepcja licznika inteligentnego wg iLab EPRO jako „moduł decyzyjny i generatora sygnałów”

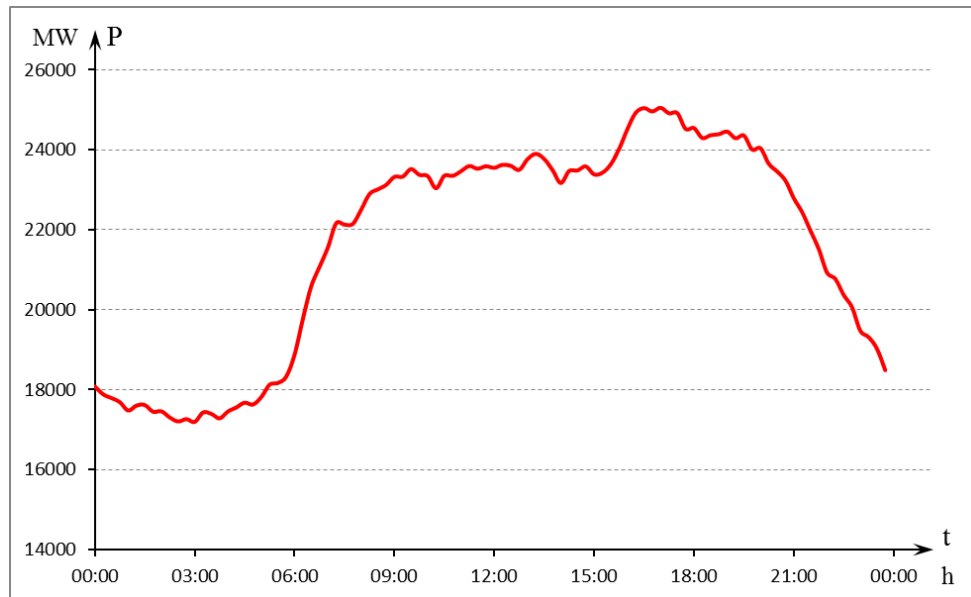
Biorąc pod uwagę rozwój usług telekomunikacyjnych, ich powszechność i dostępność, proponowane rozwiązania w zakresie komunikacji z licznikami pomiarów rozliczeniowych jako licznikami inteligentnymi, w kontekście rozwoju inteligentnych sieci elektroenergetycznych, należy uznać za prymitywne. Podobnie jak w przypadku opisu stanu istniejącego przedstawione w dalszej części propozycje należy traktować jako kierunki rozwoju w zakresie konstrukcji i możliwości oferowania nowych usług dla wszystkich mediów podlegających pomiarom rozliczeniowym (energii elektrycznej, ciepła, gazu i wody), natomiast propozycję nowej konstrukcji i możliwości przedstawiono w stosunku do liczników pomiarów rozliczeniowych energii elektrycznej, przy czym propozycję tę należy traktować jako wstęp do stworzenia licznika multi-mediowego rozumianego jako licznik uniwersalny dla pomiaru różnych mediów.

Instalowane liczniki inteligentne powinny konstrukcyjnie umożliwiać realizację nowych usług związanych z rozwojem rynku energii elektrycznej, w szczególności w znacznie większym stopniu niż obecnie umożliwiać realizację nowych usług istotnych dla odbiorcy energii elektrycznej. Według koncepcji iLab EPRO licznik inteligentny powinien pełnić również rolę kalkulatora dedykowanego do poszczególnych segmentów EP, który umożliwiać będzie tworzenie statystyk czy też dla niektórych odbiorców estymację wybranych wielkości za pomocą algorytmów obliczeniowych, np. estymację mocy szczytowej w celu obniżenia mocy zamówionej.

W tym celu konstrukcja liczników energii elektrycznej w zakresie komunikacji zewnętrznej powinna umożliwiać ich elastyczne przeprogramowywanie w ramach dostępu do danych pomiarowych przez odbiorcę, ale jednocześnie powinna umożliwiać pozyskiwanie z rynku energii istotnych dla odbiorcy danych. Dzisiejsze konstrukcje liczników nie dają takich możliwości. Aby było możliwe realizowanie wspomnianych usług konstrukcje liczników powinny umożliwiać ciągłą komunikację z siecią internet, powinny więc być wyposażone w lokalne układy wchodzące w skład konstrukcji licznika pełniące rolę mini-serwerów gromadzących dane pomiarowe i dane z rynku energii lub w wersji uproszczonej powinny być wyposażone w programowalne moduły komunikacji w ramach sieci internet, ale w każdym przypadku z dostępem przez odbiorcę do danych i usług. Dostęp do danych i usług powinien być realizowany poprzez sieć internet (dostęp zdalny), opcją dostępu mógłby być dostęp np. poprzez sieć WiFi, w ramach której licznik energii elektrycznej stanowiłby dla odbiorcy urządzenie, z którym można wymieniać dane korzystając z punktu dostępowego (ang. access point) zabudowanego u odbiorcy lub sam licznik mógłby pełnić rolę punktu dostępowego.

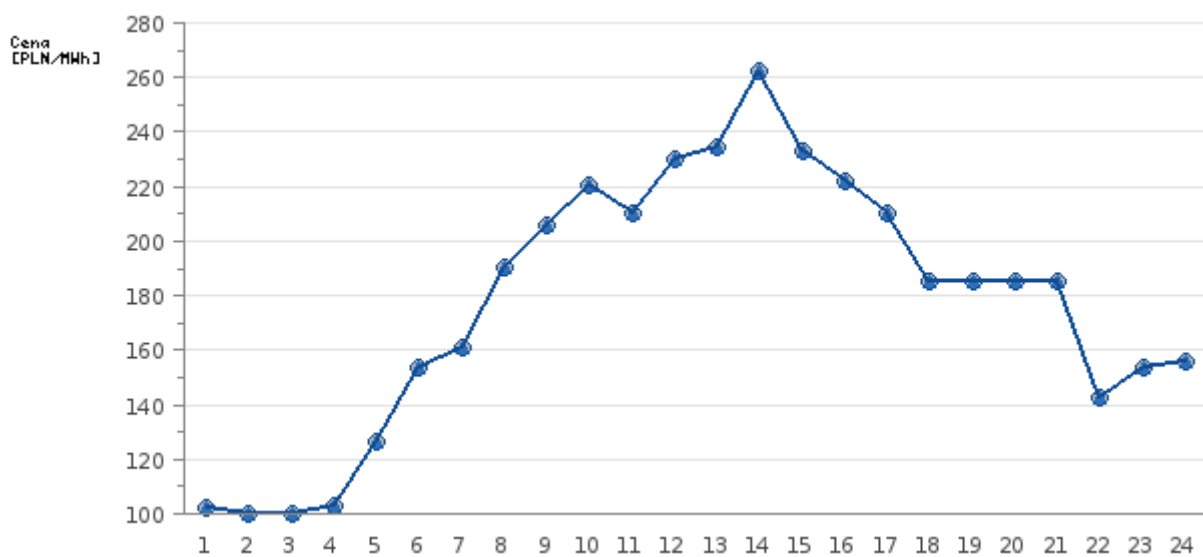
Nową, rozszerzoną koncepcję licznika inteligentnego proponuje się ze względu na rozwój energetyki prosumenckiej, związanej z wytwarzaniem energii elektrycznej u odbiorcy i możliwością np. przekazywania jej do sieci OSD. Jedną z istotnych nowych informacji, przekazywanych odbiorcy z rynku energii przez OSD byłby profil zapotrzebowania na moc w KSE (rys.2), cena energii na Rynku Bilansującym (rys. 3), cena na Towarowej Giełdzie

Energii - Rynek Dnia Bieżącego (rys.4) oraz cena energii na Towarowej Giełdzie Energii - Rynek Dnia Następnego (rys. 5).

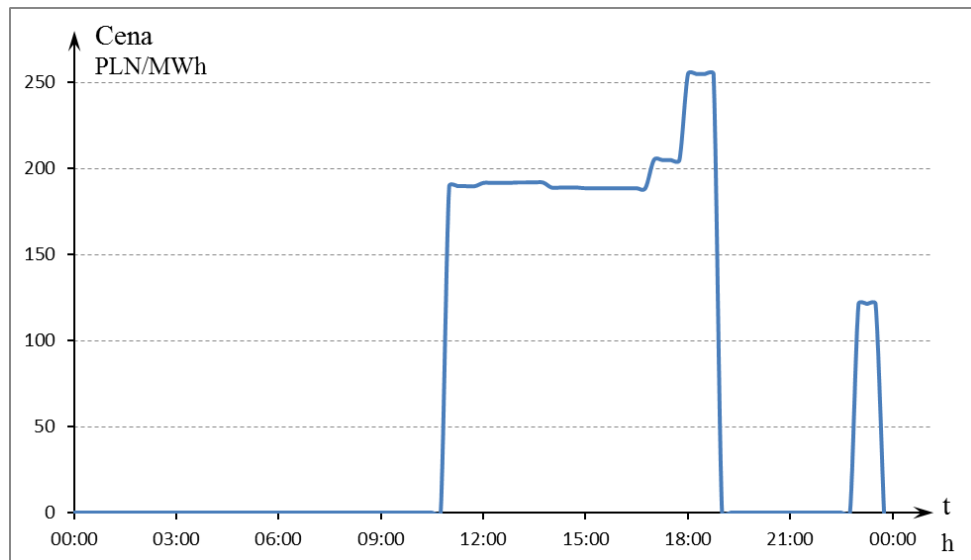


Rys. 2. Profil zapotrzebowania na moc w KSE [5]

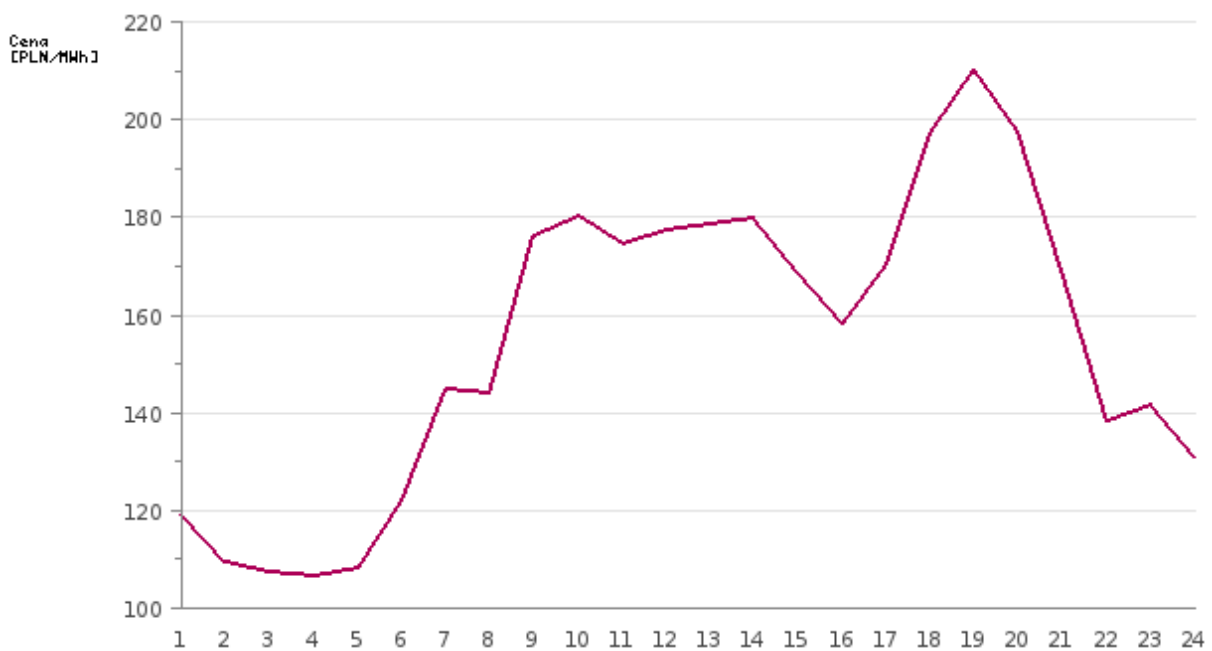
Informacja pochodząca z KSE a dotycząca profilu mocy w systemie byłaby sygnałem sterującym dla odbiorców zainteresowanych nowymi usługami dedykowanymi prosumentom. Aktualny pobór mocy w KSE związany jest z ceną energii na towarowej giełdzie energii (TGE) i z ceną na rynku bilansującym (RB). Wzrost poboru mocy w KSE prowadzi do wzrostu ceny energii na rynku. Energia elektryczna wytwarzana i magazynowana przez prosumentów w ramach wykorzystywanych odnawialnych źródeł energii (OZE) mogłaby być odsprzedawana do sieci OSD w ramach dwukierunkowego przepływu energii elektrycznej w godzinach szczytu prowadząc do zmniejszania zapotrzebowania na moc dostarczaną w ramach KSE przez wielkoskalową energetykę korporacyjną (WEK).



Rys. 3. Ceny energii na Rynku Bilansującym [6]



Rys. 4. Ceny energii na Towarowej Giełdzie Energii - Rynek Dnia Bieżącego [7]



Rys. 5. Ceny energii na Towarowej Giełdzie Energii - Rynek Dnia Następnego [6]

Kolejną z nowych usług byłyby usługi kształtowania profilu prosumenta w zakresie zapotrzebowania na moc, wykorzystująca m.in. rozwijane i wykorzystywane obecnie pojęcie internetu przedmiotów (IoT), zbliżona do usługi DSM (ang. demand side management) tłumaczona na język polski jako "zarządzanie stroną popytową", oznaczająca bardziej efektywne wykorzystywanie mocy w systemie KSE poprzez tworzenie mechanizmów do sterowania polegającego na przesuwaniu w czasie załączania odbiorników elektrycznych z okresów obciążenia szczytowego na pozaszczytowe. W tym sensie, w nawiązaniu do profilu KSE, informacje pozyskiwane za pośrednictwem licznika stanowiłyby dane dla potrzeb sterowania instalacjami i odbiornikami elektrycznymi u odbiorcy, przez co zrealizowana zostałaby usługa typu DSR (ang. demand side response) prowadząca do zmniejszenia

obciążenia KSE przez odbiorców energii elektrycznej dzięki sterowaniu chwilą włączenia poszczególnych odbiorników energii elektrycznej i przesuwaniu czasu ich pracy w zakresie istniejących możliwości na godziny pozaszczytowe. W licznikach o charakterze przedpłatowym usługa taka mogłaby prowadzić do czasowego wyłączenia mniej ważnych odbiorników. W ramach tak rozumianej usługi realizowany byłby specyficzny tor przetwarzania informacji, w którym informacja dotycząca profilu zapotrzebowania mocy w KSE byłaby przetwarzana przez licznik, z którego trafiałaby do sterowników i układów automatyki u odbiorcy, po przetworzeniu w układach sterowania trafiałaby do układów wykonawczych urządzeń odbiorcy a efektem przetwarzania tej informacji byłby billing stanowiący podstawę rozliczeń.

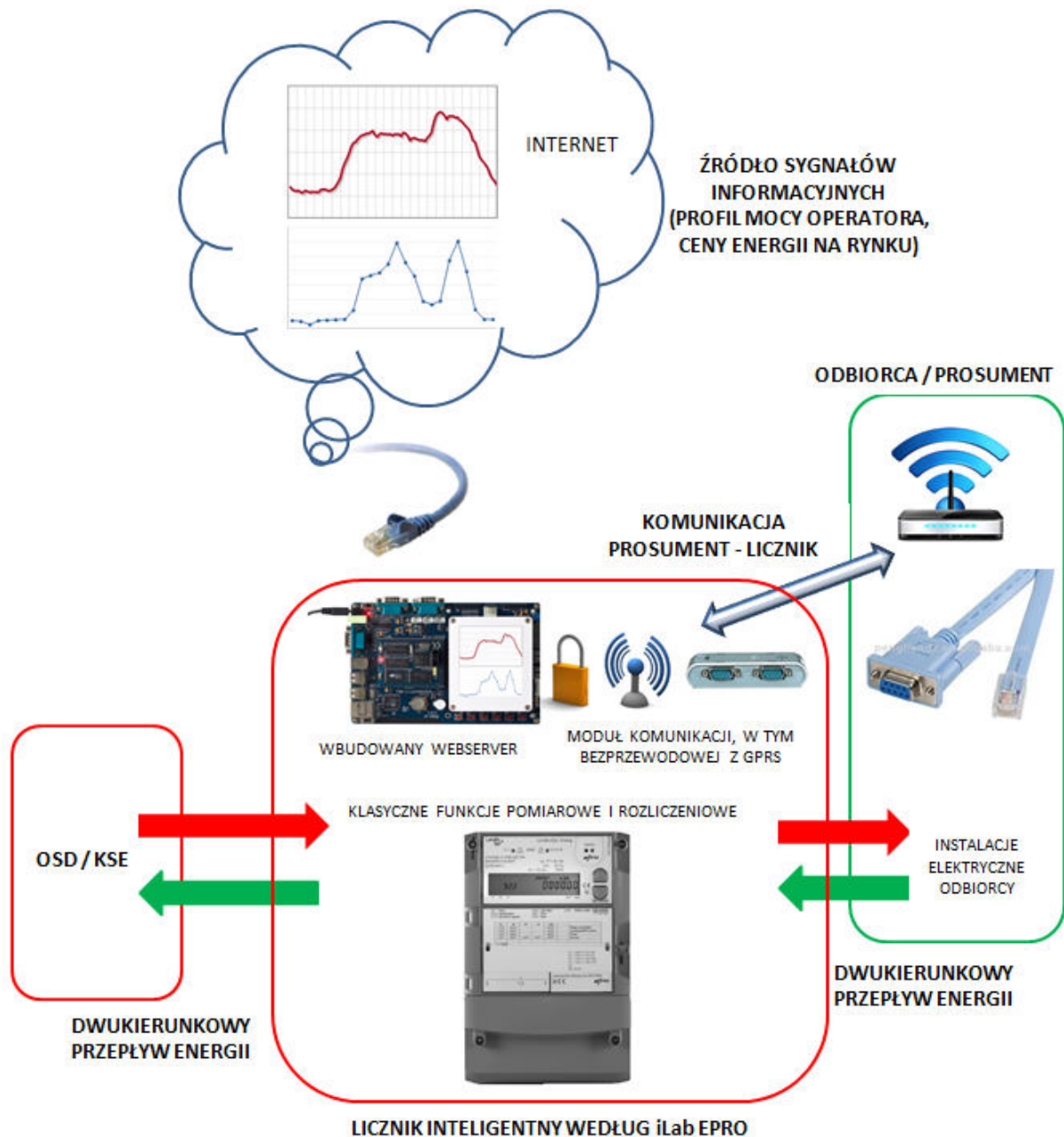
W zakresie instalacji energetyki prosumenckiej licznik energii elektrycznej byłby dodatkowo urządzeniem przekazującym informacje związane z pracą prosumenckich mikroinfrastruktur energetycznych (PME). W tym sensie przekazywałby informacje na temat bieżącego przepływu energii elektrycznej pomiędzy OSD i odbiorcą/prosumentem informując np. o zaniku produkcji energii elektrycznej u prosumenta albo o wyczerpywaniu się energii elektrycznej dostępnej w jego zasobnikach energii.

Rozwój nowych usług w coraz szerszym zakresie dotyczyć będzie również problemów coraz bardziej dokładnego prognozowania zużycia energii elektrycznej i przewidywanego obciążenia systemu KSE mocą, ale dotyczyć on będzie również prognozowania w odniesieniu do produkowanej i magazynowanej w instalacjach PME energii elektrycznej, i związanego z tym wpływu na profil obciążenia w KSE oraz możliwościami wpływania na kształt tego profilu.

Przełomowe wymaganie w zakresie konieczności wymiany istniejących liczników i zastąpienia ich licznikami inteligentnymi powinno zostać wykorzystane również do stworzenia nowych usług służącym odbiorcom, przyszłym prosumentom (w obecnie proponowanych rozwiązaniach brak jest właściwie takich usług). W tym sensie licznik inteligentny powinien stać się źródłem sygnałów sterujących dla odbiorcy, pozwalając na realizację następujących usług:

- na podstawie profilu obciążenia KSE → sygnał sterujący do modyfikowania profilu obciążenia odbiorcy w celu jego maksymalnego „spłaszczenia” prowadzącego do przesuwania załączania nie priorytetowych odbiorników poza okresy szczytowe; w efekcie tego w skali kraju uzyska się spłaszczenie profilu KSE i spadek zapotrzebowania na moc w godzinach szczytowych, co w konsekwencji wpłynie na zmniejszenie krajowych środków inwestycyjnych na odtwarzanie i rozbudowę mocy w KSE;
- na podstawie informacji o cenach energii na rynku bilansującym i na towarowej giełdzie energii → sygnały sterujące do podejmowania decyzji o sterowaniu (załączaniu, wyłączaniu, kontrolowaniu poziomu mocy) odbiorników energii elektrycznej odbiorcy w godzinach szczytowych; w efekcie tego w skali kraju uzyska się następny stopień spłaszczenia profilu KSE i spadek zapotrzebowania na moc w godzinach szczytowych, a w konsekwencji stanowić może drugi stopień wpływania na zmniejszenie krajowych środków inwestycyjnych na odtwarzanie i rozbudowę mocy w KSE;
- na podstawie informacji o cenach energii na rynku bilansującym i na towarowej giełdzie energii → sygnały sterujące do podejmowania decyzji o sprzedaży energii elektrycznej produkowanej przez prosumenta w godzinach szczytowych bezpośrednio z odnawialnych źródeł energii lub o sprzedaży w godzinach szczytowych energii elektrycznej zakumulowanej przez prosumenta w zasobnikach energii; w efekcie tego w skali kraju uzyska się następny stopień spłaszczenia profilu KSE i spadek zapotrzebowania na moc w godzinach szczytowych, co w konsekwencji stanowić będzie trzeci stopień wpływania na zmniejszenie krajowych środków inwestycyjnych na odtwarzanie i rozbudowę mocy w KSE;

- na podstawie informacji o zaniku napięcia zasilania po stronie operatora → sygnał sterujący do przejścia odbiorcy w tryb pracy „off-grid”, umożliwiającą realizację sterowań o charakterze oszczędnościowym w odniesieniu do energii produkowanej z odnawialnych źródeł energii lub zakumulowanej w zasobnikach;
- na podstawie informacji o ograniczeniach zasilania po stronie operatora (stany pracy awaryjnej sieci dystrybucyjnej, planowane wyłączenia) → sygnał sterujący do przejścia odbiorcy w tryb pracy oszczędnościowej ze zmniejszoną mocą.



Rys. 6. Koncepcja licznika inteligentnego

Realizacja wspomnianych usług wymusza taką konstrukcję licznika inteligentnego, aby była możliwość skomunikowania się z licznikiem przez odbiorcę w celu pobrania sygnałów sterujących. Komunikacja taka mogłaby być realizowana za pomocą komunikacji bezprzewodowej (np. w postaci Wi-Fi) lub komunikacji przewodowej z wykorzystaniem

transmisji danych z wykorzystaniem przemysłowej sieci komunikacyjnej (np. Modbus), jak pokazano na rys. 6. W ten sposób licznik energii pełniłby również funkcję rejestratora usług systemowych.

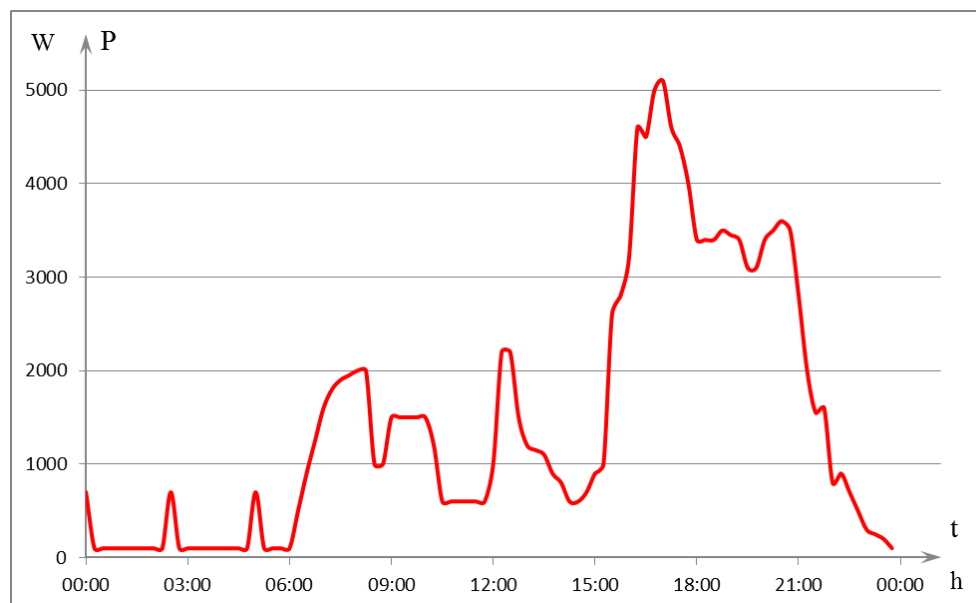
W dalszej części zostały przedstawione efekty, możliwe do uzyskania z wykorzystaniem proponowanej konfiguracji licznika inteligentnego, związane z modyfikacjami profili obciążenia począwszy od odbiorcy-prosumenta poprzez stację transformatorową a skończywszy na profilu KSE. Do zamodelowania możliwych do uzyskania efektów wykorzystano bardzo proste narzędzie jakim jest arkusz kalkulacyjny.

Przedstawione w dalszej części analizy, dotyczące modyfikacji dobowych profili obciążeń, zostały opracowane przy następujących założeniach.

1. Modyfikacje zrealizowano dla części doby pomiędzy godzinami od 6⁰⁰ do 22⁰⁰,
2. Nie uwzględniono możliwości takiego sterowania odbiornikami elektrycznymi, aby część z nich załączać w godzinach pomiędzy 22⁰⁰ a 6⁰⁰ (kiedy obecne ceny energii elektrycznej są najniższe) ze względu na to, że użytkowanie niektórych odbiorników w tych godzinach nie ma sensu lub znaczna część urządzeń podlegających kontrolowanemu sterowaniu jest np. źródłem hałasu,
3. Modyfikacje profilu odbiorcy-prosumenta zrealizowano na podstawie aktualnej struktury cenowej cen energii na Rynku Bilansującym i na Towarowej Giełdzie Energii (rys. 3, 4 i 5).

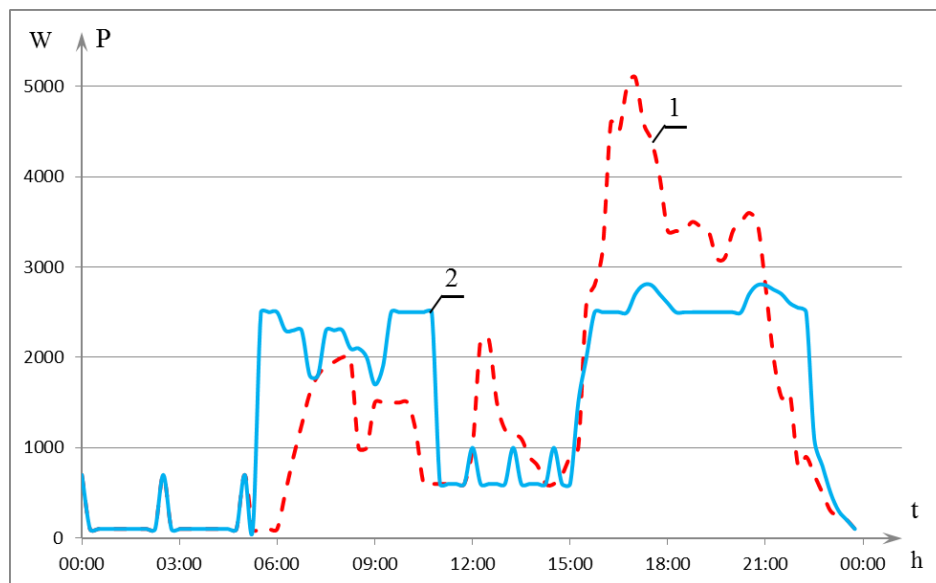
3. Wykorzystanie możliwości licznika inteligentnego do modyfikacji profilu obciążeniowego odbiorcy-prosumenta w postaci domu jednorodzinnego

Na rys. 7 został przedstawiony przykładowy rzeczywisty profil odbiorcy zamieszkującego dom jednorodzinny, dla którego maksymalna pobierana moc nieznacznie przekracza wartość 5 kW. Instalacje elektryczne odbiorcy zasilają typowe dla lokali mieszkalnych i domów jednorodzinnych urządzenia RTV i AGD, oświetlenie oraz bojler elektryczny do produkcji ciepłej wody użytkowej. Profil ten może odzwierciedlać na przykład standardowe profile obciążenia dla mieszkań i domów zgazyfikowanych lub z innym nieelektrycznym źródłem ciepła, w których nie wykorzystuje się energii elektrycznej dla potrzeb gotowania i ogrzewania domu (kuchnie elektryczne i piece akumulacyjne).



Rys. 7. Przykładowy profil obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci domu jednorodzinnego [8]

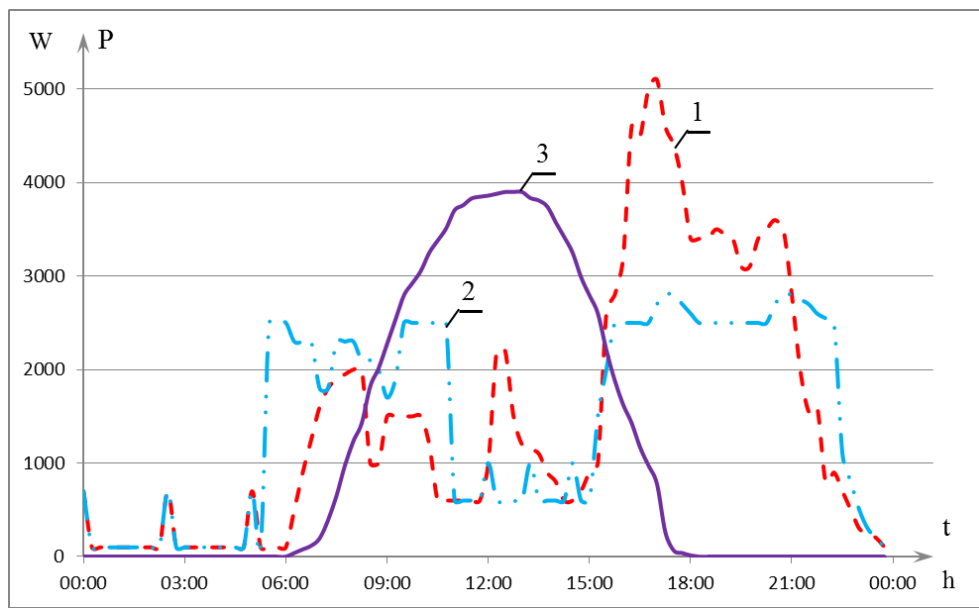
Wykorzystując możliwości komunikacyjne inteligentnego licznika na podstawie informacji o cenach energii na rynku (rys. 3, 4 i 5) można będzie dokonywać modyfikacji profilu obciążenia dokonując zmian polegających na kontrolowanym włączaniu odbiorników energii elektrycznej w taki sposób, aby minimalizować poziom pobieranej mocy w czasie, kiedy cena energii jest wysoka. Odpowiednie sterowanie włączaniem odbiorników pozwala nie tylko zmodyfikować profil z punktu widzenia cen energii na rynku ale również pozwala ograniczyć maksymalną moc pobieraną przez odbiorcę. Przykład takiej modyfikacji, rozumianej na razie jako symulacja na etapie tworzenia modeli obiektu, został przedstawiony na rys. 8. W ten sposób, w odniesieniu do wielu odbiorców zasilanych np. ze wspólnej stacji transformatorowej, wprowadzenie inteligentnego sterowania prowadzi będzie do ograniczenia pobieranych przez nich maksymalnej mocy traktując grupę odbiorców łącznie, w konsekwencji prowadzi to będzie do ograniczenia mocy maksymalnej na różnych poziomach systemu elektroenergetycznego.



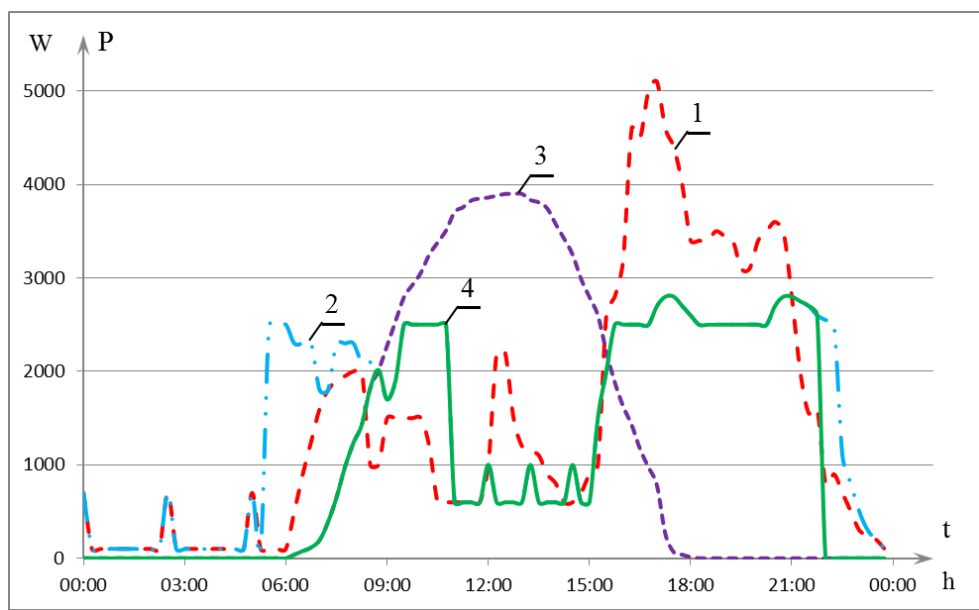
Rys. 8. Zmodyfikowany profil obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci domu jednorodzinnej (2 - kolor niebieski) w stosunku do pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Jeszcze większe możliwości w zakresie sterowania i modyfikowania profilu pojawią się w przypadku odbiorcy-prosumenta, wytwarzającego lokalnie energię elektryczną w odnawialnych źródłach energii, np. w źródłach fotowoltaicznych. Na rys. 9 został przedstawiony przykładowy rzeczywisty profil mocy dla energii elektrycznej wytwarzanej z paneli fotowoltaicznych o mocy 5 kW [9]. Wykorzystując możliwości komunikacyjne licznika inteligentnego, na podstawie wiedzy o cenach energii na rynku, wytwarzana w godzinach południowych nadwyżka energii, w przypadku atrakcyjnych cen sprzedaży, mogłaby zostać sprzedana do sieci elektroenergetycznej. W przypadku gdyby ceny sprzedaży energii elektrycznej z OZE nie były dla prosumenta atrakcyjne produkowaną lokalnie energię elektryczną po zakumulowaniu prosument zużywałby na własne potrzeby - przypadek taki został przedstawiony na rys. 10.

W tym przypadku wyprodukowana z OZE energia elektryczna zostałaby w całości zużyta przez prosumenta, ale w konsekwencji prowadzi to będzie nie tylko do zmniejszenia mocy maksymalnych pobieranych przez odbiorcę - prosumenta w okresach szczytowych ale również do zmniejszania wartości mocy pobieranej z systemu elektroenergetycznego w szerszym rozumieniu tzn. również poza okresami szczytowymi.



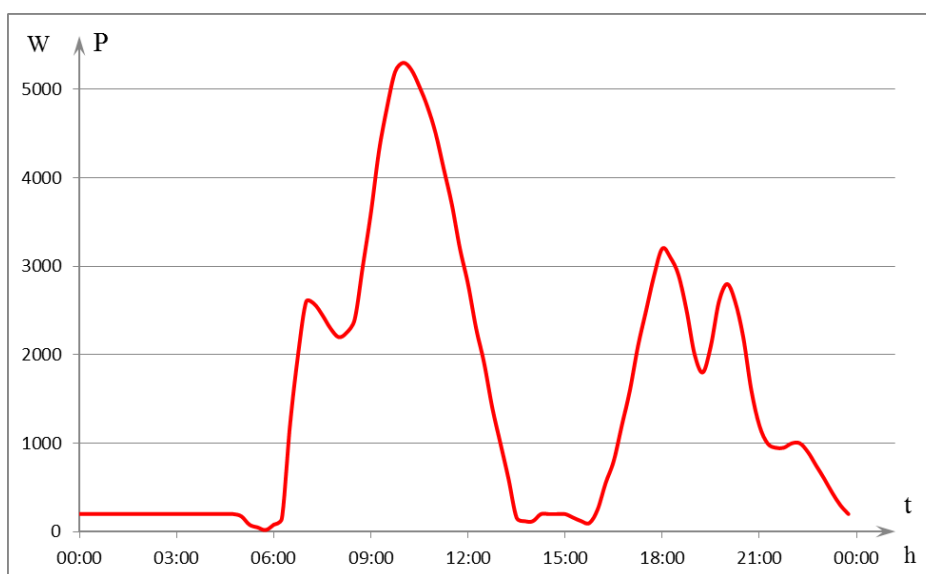
Rys. 9. Przykładowy profil mocy dla energii elektrycznej wytwarzanej z paneli fotowoltaicznych (3 - kolor fioletowy) w stosunku do: zmodyfikowanego profilu obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci domu jednorodzinnego (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)



Rys. 10. Różnica bilansowa (4 - kolor zielony) - fragment przykładowego profilu odbiorcy kompensowany wytwarzaną z paneli fotowoltaicznych energią elektryczną akumulowaną i zużywaną w całości przez prosumenta w stosunku do: pierwotnego profilu mocy produkowanej energii elektrycznej (3 - kolor fioletowy), zmodyfikowanego profilu obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci domu jednorodzinnego (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

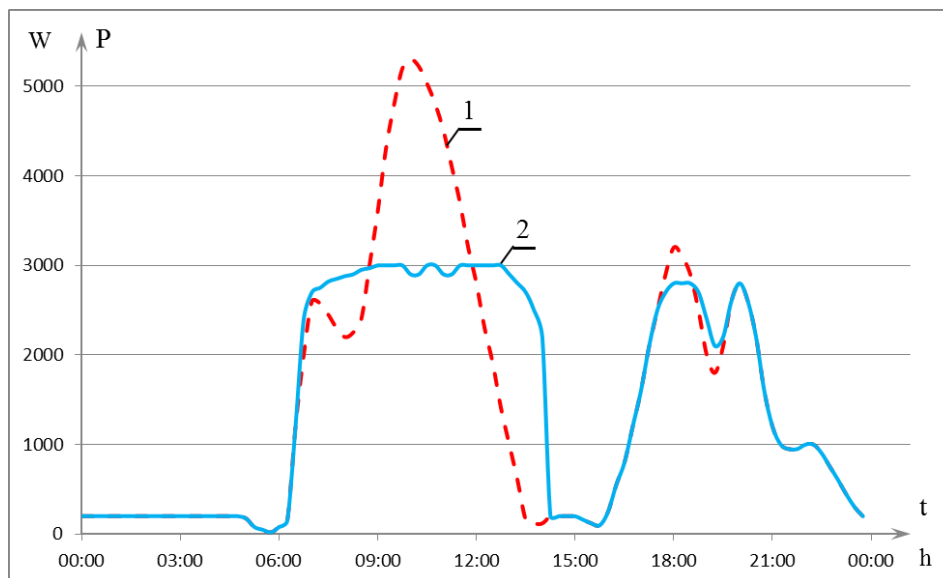
4. Wykorzystanie możliwości licznika inteligentnego do modyfikacji profilu obciążeniowego odbiorcy-prosumenta w postaci gospodarstwa rolnego

Na rys.11 został przedstawiony przykładowy rzeczywisty profil odbiorcy, którym w tym przypadku jest właściciel gospodarstwa rolnego, dla którego maksymalna pobierana moc osiąga wartość 5,3 kW. Rozpatrywane gospodarstwo rolne jest przykładem gospodarstwa z produkcją rolną mieszaną obejmującą hodowlę bydła, trzody chlewnej i kur. Instalacje elektryczne odbiorcy zasilają oprócz typowych dla domów jednorodzinnych urządzenia RTV i AGD oraz oświetlenia również urządzenia związane z produkcją rolną w postaci kotła do gotowania ziemniaków i młyna zbożowego. Profil ten może odzwierciedlać typowe profile obciążenia dla gospodarstw rolnych zgazyfikowanych lub z innym nieelektrycznym źródłem ciepła, w których nie wykorzystuje się energii elektrycznej dla potrzeb gotowania i ogrzewania domu (kuchnie elektryczne i piece akumulacyjne).



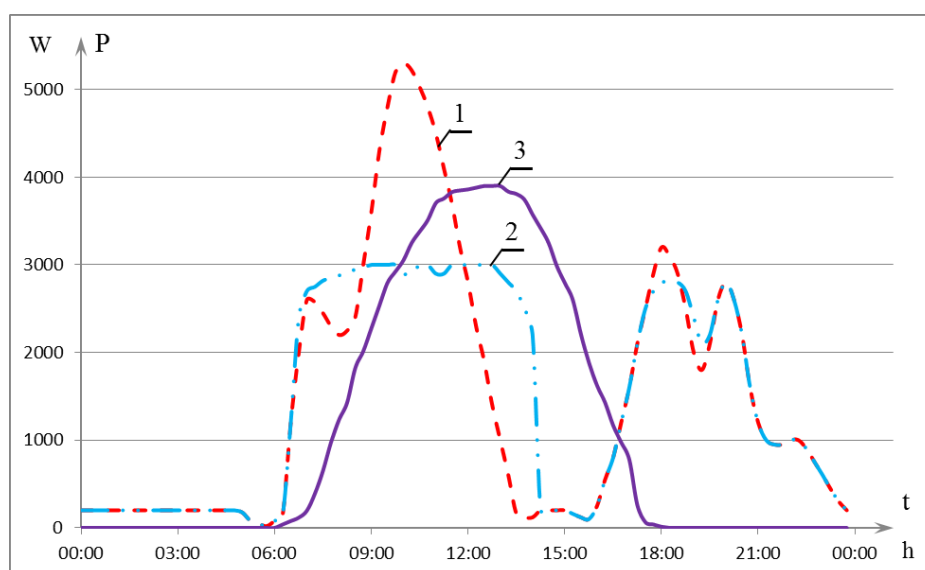
Rys. 11. Przykładowy profil obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci gospodarstwa rolnego [10]

Podobnie jak dla opisanego wcześniej przypadku domu jednorodzinnego wykorzystując możliwości komunikacyjne inteligentnego licznika na podstawie informacji o cenach energii na rynku można będzie modyfikować profil obciążenia dokonując zmian polegających na kontrolowanym włączaniu odbiorników energii elektrycznej w taki sposób, aby minimalizować poziom pobieranej mocy w czasie, kiedy cena energii jest wysoka. Podobnie jak w przypadku domu jednorodzinnego odpowiednie sterowanie włączaniem odbiorników pozwala nie tylko zmodyfikować profil z punktu widzenia cen energii na rynku ale również pozwala ograniczyć maksymalną moc pobieraną przez odbiorcę. Przykład takiej modyfikacji, rozumianej na razie jako symulacja na etapie tworzenia modeli obiektu, został przedstawiony na rys.12. W ten sposób, w odniesieniu do wielu odbiorców zasilanych np. ze wspólnej stacji transformatorowej na obszarach wiejskich, wprowadzenie inteligentnego sterowania prowadzi będzie do ograniczenia pobieranych przez nich maksymalnej mocy traktując grupę odbiorców łącznie, w konsekwencji prowadzi to będzie do ograniczenia mocy maksymalnej na różnych poziomach systemu elektroenergetycznego.

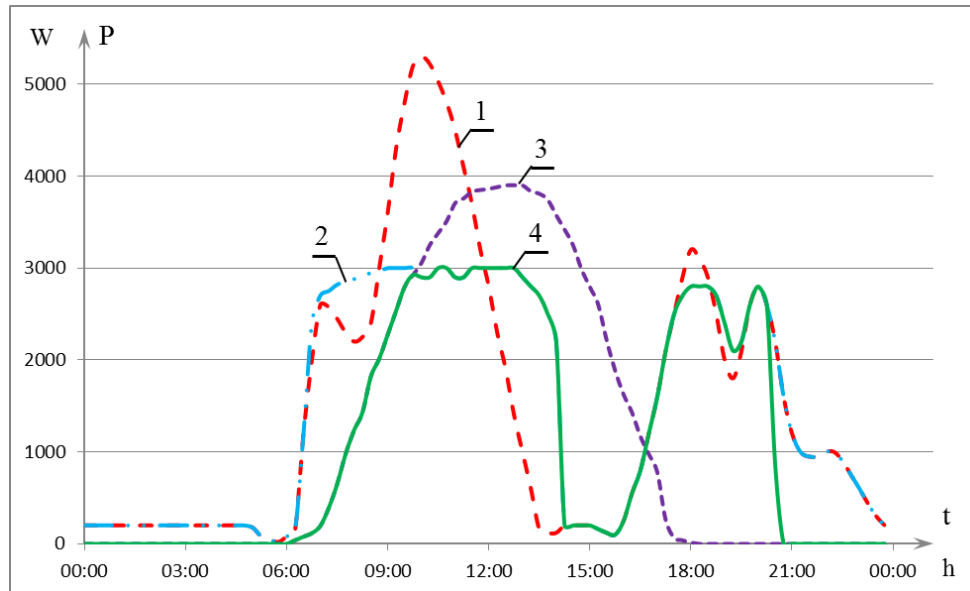


Rys. 12. Zmodyfikowany profil obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci gospodarstwa rolnego (2 - kolor niebieski) w stosunku do pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Jeszcze większe możliwości w zakresie sterowania i modyfikowania profilu pojawią się w przypadku odbiorcy-prosumenta, wytwarzającego lokalnie energię elektryczną w odnawialnych źródłach energii, np. w źródłach fotowoltaicznych. Na rys. 13 został przedstawiony przykładowy rzeczywisty profil mocy dla energii elektrycznej wytwarzanej z paneli fotowoltaicznych o mocy 5 kW. Wykorzystując możliwości komunikacyjne licznika inteligentnego, na podstawie wiedzy o cenach energii na rynku, wytwarzana w godzinach południowych nadwyżka energii, w przypadku atrakcyjnych cen sprzedaży, mogłaby zostać sprzedana do sieci elektroenergetycznej. W przypadku gdyby ceny sprzedaży energii elektrycznej z OZE nie były dla prosumenta atrakcyjne produkowaną lokalnie energię elektryczną po zakumulowaniu prosument zużywałby na własne potrzeby - przypadek taki został przedstawiony na rys. 14.



Rys. 13. Przykładowy profil mocy dla energii elektrycznej wytwarzanej z paneli fotowoltaicznych (3 - kolor fioletowy) w stosunku do: zmodyfikowanego profilu obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci gospodarstwa rolnego (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

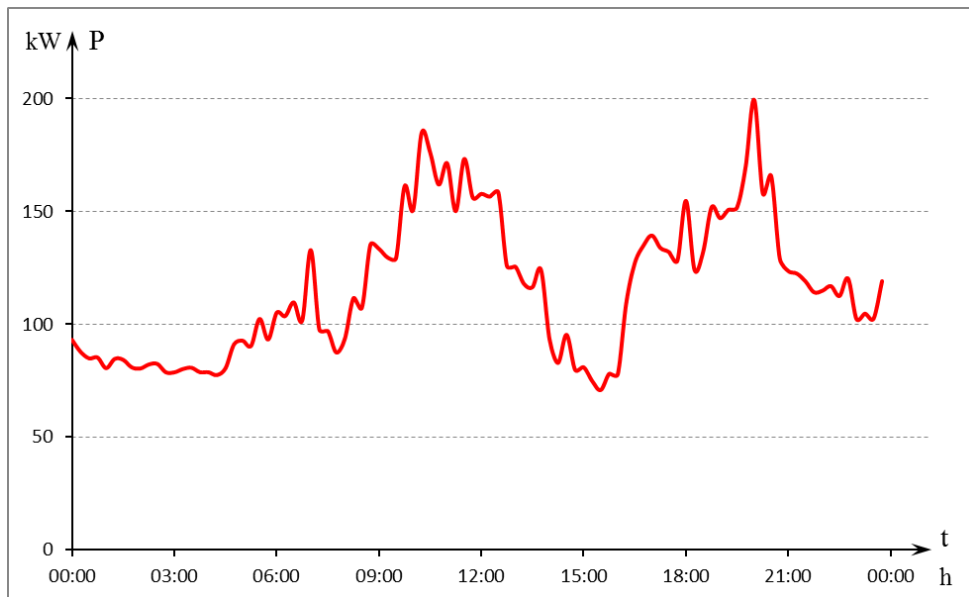


Rys. 14. Różnica bilansowa (4 - kolor zielony) - fragment przykładowego profilu odbiorcy kompensowany wytwarzaną z paneli fotowoltaicznych energią elektryczną akumulowaną i zużywaną w całości przez prosumenta w stosunku do: pierwotnego profilu mocy produkowanej energii elektrycznej (3 - kolor fioletowy), zmodyfikowanego profilu obciążenia odbiorcy-prosumenta w postaci gospodarstwa rolnego (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

W tym przypadku wyprodukowana z OZE energia elektryczna zostałaaby w całości zużyta przez prosumenta, ale w konsekwencji prowadzić to będzie nie tylko do zmniejszenia mocy maksymalnych pobieranych przez odbiorcę - prosumenta w okresach szczytowych ale również do zmniejszania wartości mocy pobieranej z systemu elektroenergetycznego w szerszym rozumieniu tzn. również poza okresami szczytowymi.

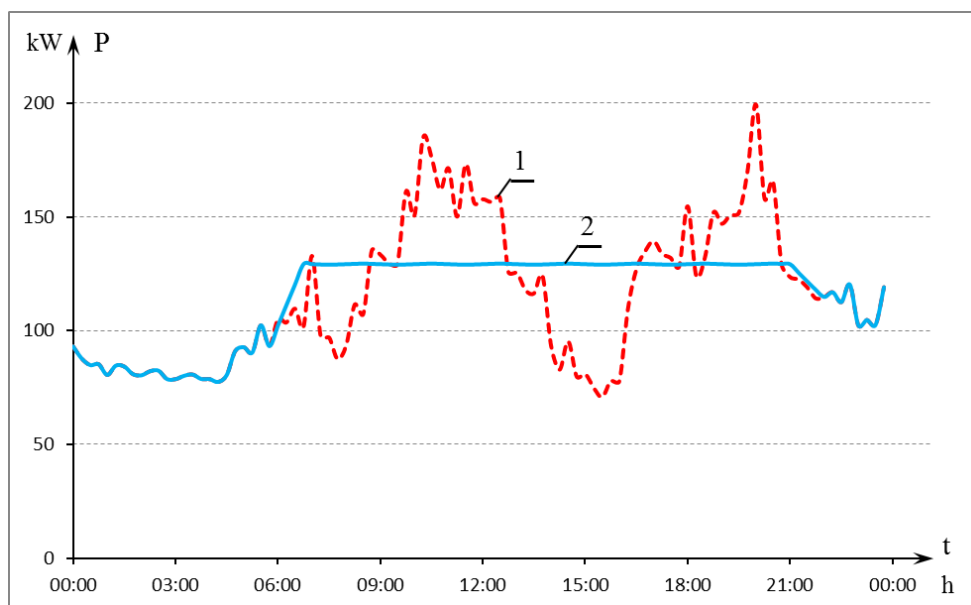
5. Modyfikacja profilu obciążenia stacji transformatorowej z wykorzystaniem możliwości licznika inteligentnego

Przedstawione w poprzednich rozdziałach analizy można przenieść na poziom stacji transformatorowej zasilającej grupę odbiorców. Na rys. 15 został przedstawiony przykładowy profil obciążenia stacji transformatorowej zasilanej z linii 20 kV, z transformatorem o mocy 400 kVA, zlokalizowanej na terenie wiejskim. Stacja transformatorowa zasilą głównie domy jednorodzinne z niewielkim udziałem małych gospodarstw rolniczych a profil został zamodelowany na podstawie rzeczywistych pomiarów mocy linii energetycznej niskiego napięcia zasilanej ze stacji transformatorowej.



Rys. 15. Przykładowy profil obciążenia stacji transformatorowej z transformatorem 400 kVA

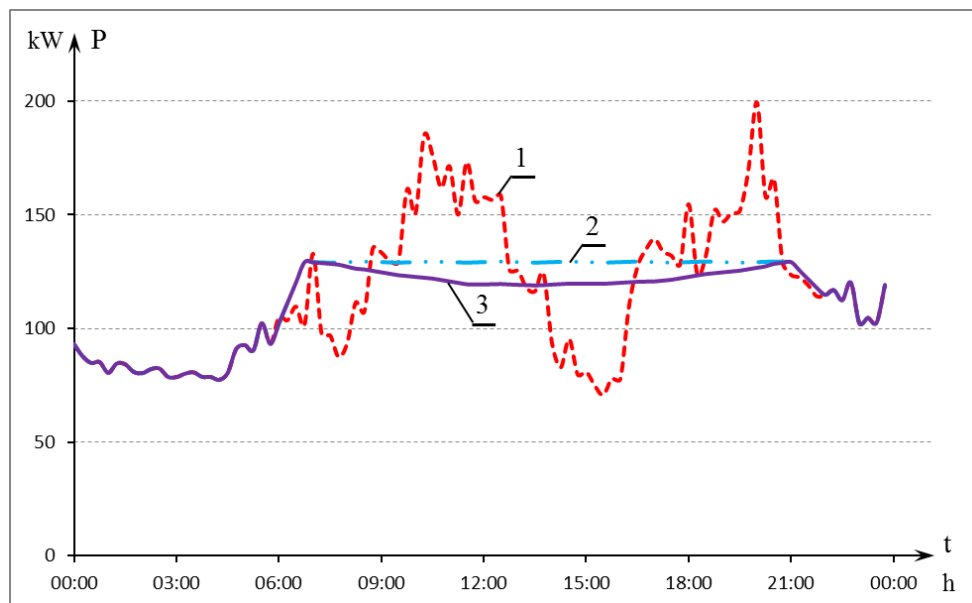
Podobnie jak w poprzednim rozdziale, wykorzystując możliwości komunikacyjne licznika inteligentnego, poprzez odpowiednie sterowania załączaniem odbiorników u poszczególnych odbiorców, można uzyskać spłaszczenie profilu obciążeniowego stacji transformatorowej, którego przykład przedstawiony został na rys. 16. Przedstawiony na rys. 16 kształt profilu uzyskany jako wynik symulacji stanowi wartość uśrednioną podlegającą pewnym fluktuacjom związanym z konkretnymi sygnałami sterującymi kierowanymi do odbiorców z licznika inteligentnego.



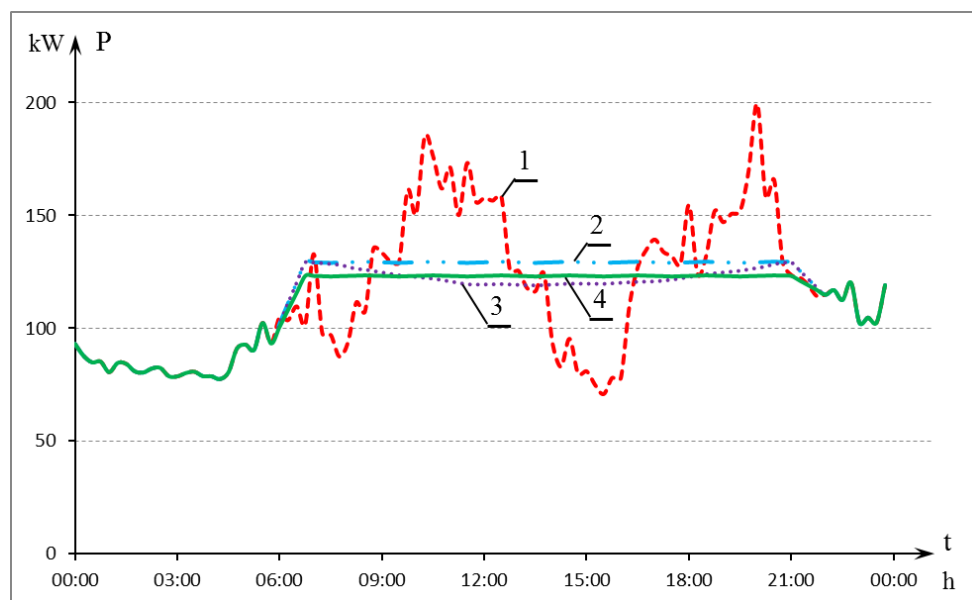
Rys. 16. Zmodyfikowany profil obciążenia stacji transformatorowej (2 - kolor niebieski) w stosunku do pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Kolejny krok w zakresie modyfikacji profilu obciążenia stacji transformatorowej prowadzi do uwzględnienia w zakresie mocy pobieranej wartości mocy energii elektrycznej produkowanej z OZE. W rozpatrywanym przykładzie założono, że efektywnie w zakresie

odbiorców zasilanych ze stacji transformatorowej podłączone są również u prosumentów źródła odnawialne produkujące energię elektryczną z maksymalną mocą 10 kW. Przypadek taki został przedstawiony na rys. 17.



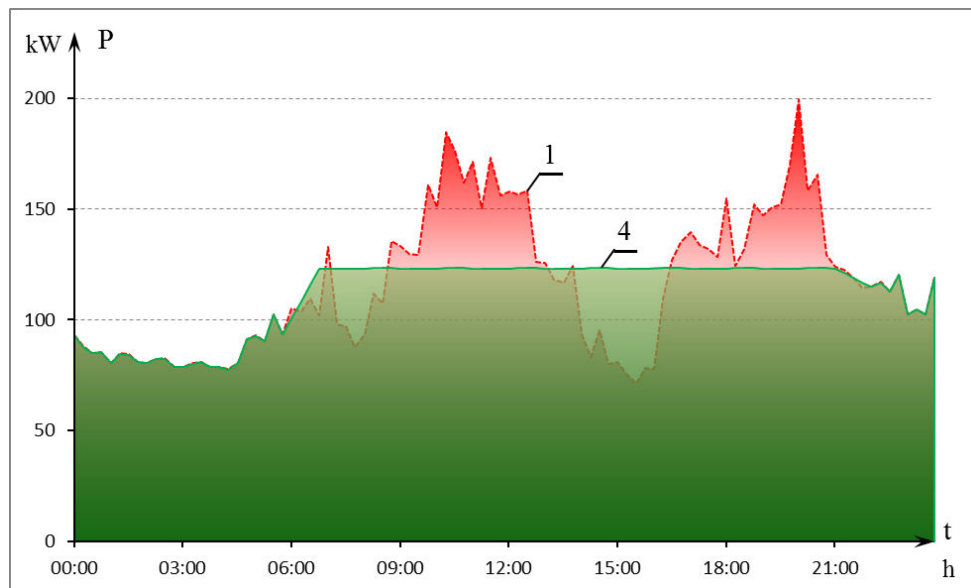
Rys. 17. Zmodyfikowany profil obciążenia stacji transformatorowej (3 - kolor fioletowy) uwzględniający produkowaną przez odbiorców-prosumentów energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii) w stosunku do: zmodyfikowanego profilu obciążenia stacji transformatorowej (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)



Rys. 18. Możliwy do uzyskania uśredniony profil obciążenia stacji transformatorowej (4 - kolor zielony) w stosunku do: zmodyfikowanego profilu obciążenia stacji transformatorowej (3 - kolor fioletowy) uwzględniającego produkowaną przez odbiorców-prosumentów energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii), zmodyfikowanego profilu obciążenia stacji transformatorowej (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Produkowana energia elektryczna z OZE powodować będzie obniżanie wartości mocy pobieranej przez odbiorców ze stacji transformatorowej, a w konsekwencji wykorzystywanie sygnałów sterujących z inteligentnych liczników energii elektrycznej prowadzić może do kolejnego uśredniania i obniżenia wartości mocy pobieranej ze stacji transformatorowej, przypadek taki został przedstawiony na rys. 18.

Podsumowanie opisanego procesu wykorzystania licznika inteligentnego zostało przedstawione na rys. 19, wykorzystując sygnały sterujące z inteligentnego licznika energii pierwotny profil obciążenia stacji transformatorowej może zostać zastąpiony profilem o charakterze uśrednionym, uwzględniającym energię elektryczną produkowaną z odnawialnych źródeł energii.



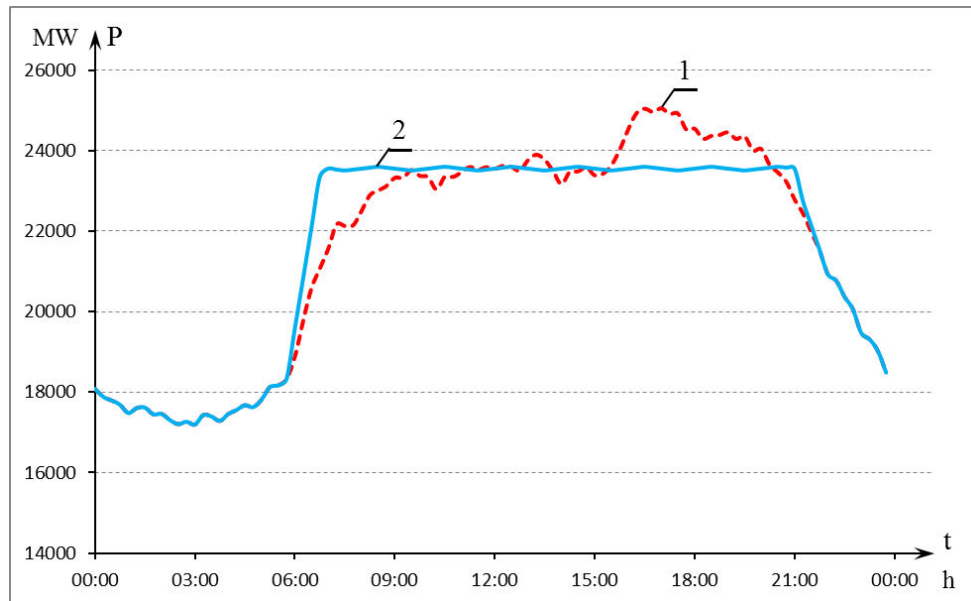
Rys. 19. Możliwy do uzyskania uśredniony profil obciążenia stacji transformatorowej (4 - kolor zielony) w stosunku do pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Analizując ostatni, uśredniony profil stacji transformatorowej można zauważyć, że poziom mocy oznaczający wartość średnią nie dzieli symetrycznie pierwotnego profilu stacji w sensie wartości energii elektrycznej (rozmiary pól profilu pierwotnego powyżej i poniżej wartości uśrednionej nie są sobie równe). Jest to związane z faktem uwzględnienia w profilu uśrednionym wartości energii generowanej z odnawialnych źródeł energii, im większa będzie wartość zainstalowanych mocy w odnawialnych źródeł energii, w związku z czym rosnąć będzie wartość generowanej przez nie energii elektrycznej, tym bardziej uśredniony profil stacji transformatorowej będzie się obniżał.

6. Modyfikacja profilu KSE z wykorzystaniem możliwości licznika inteligentnego

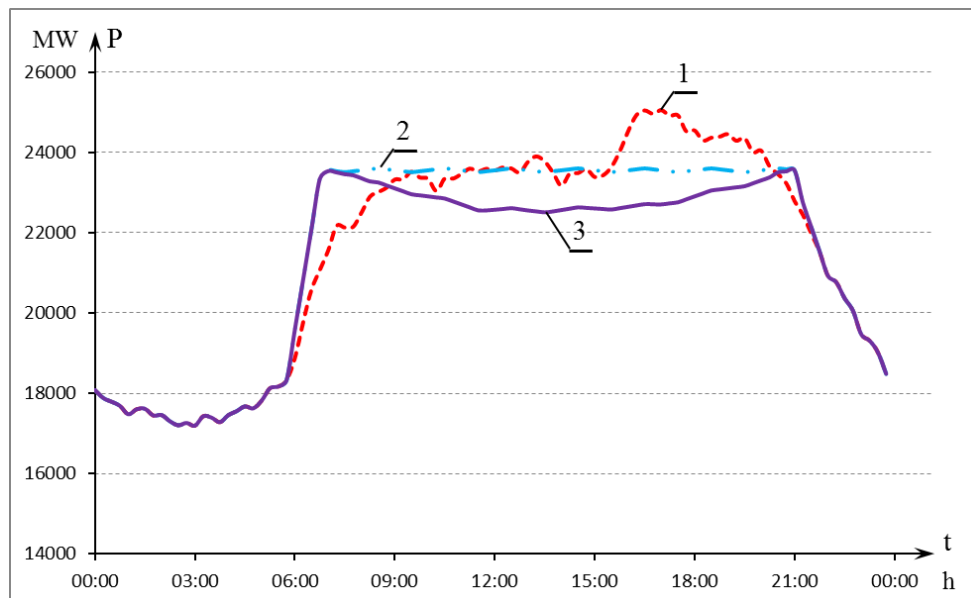
Najwyższym poziomem, na jaki można przenieść przedstawione w poprzednich rozdziałach analizy, jest poziom Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), którego przykładowy profil dostępny powszechnie na stronie internetowej PSE został przedstawiony na rys. 2. Podobnie jak przednio, wykorzystując możliwości komunikacyjne licznika inteligentnego poprzez odpowiednie sterowania załączaniem odbiorników u odbiorców (potencjał około 6,5 mln gospodarstw domowych), można uzyskać spłaszczenie profilu obciążeniowego KSE, którego przykład przedstawiony został na rys. 20. Podobnie jak zostało to podkreślone wcześniej przedstawiony na rys. 20 kształt profilu stanowi pewną wartość uśrednioną

podlegającą fluktuacjom związanym z konkretnymi sygnałami sterującymi kierowanymi do odbiorców z licznika inteligentnego i uzyskany został jako wynik symulacji.



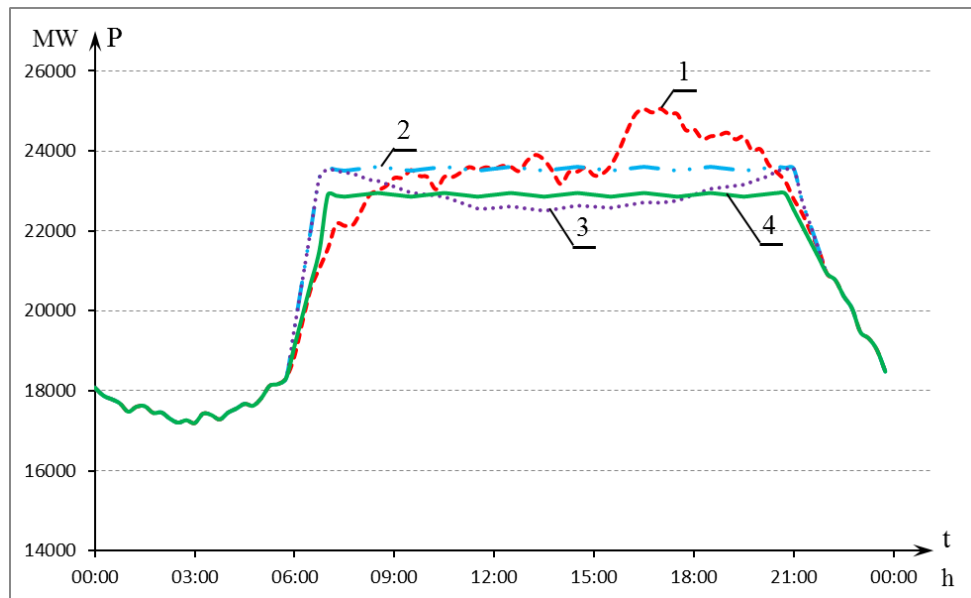
Rys. 20. Zmodyfikowany profil obciążenia KSE (2 - kolor niebieski) w stosunku do pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Przedstawiony na rys. 20 zmodyfikowany profil KSE nie uwzględnia energii elektrycznej, produkowanej z OZE przez odbiorców-prosumentów. Dla potrzeb kolejnej analizy uwzględniona została produkcja energii elektrycznej z OZE w ramach źródeł fotowoltaicznych na poziomie 1000 MW łącznie w odniesieniu do wszystkich odbiorców, uzyskany efekt zmniejszenia mocy pobieranej z KSE został przedstawiony na rys. 21.



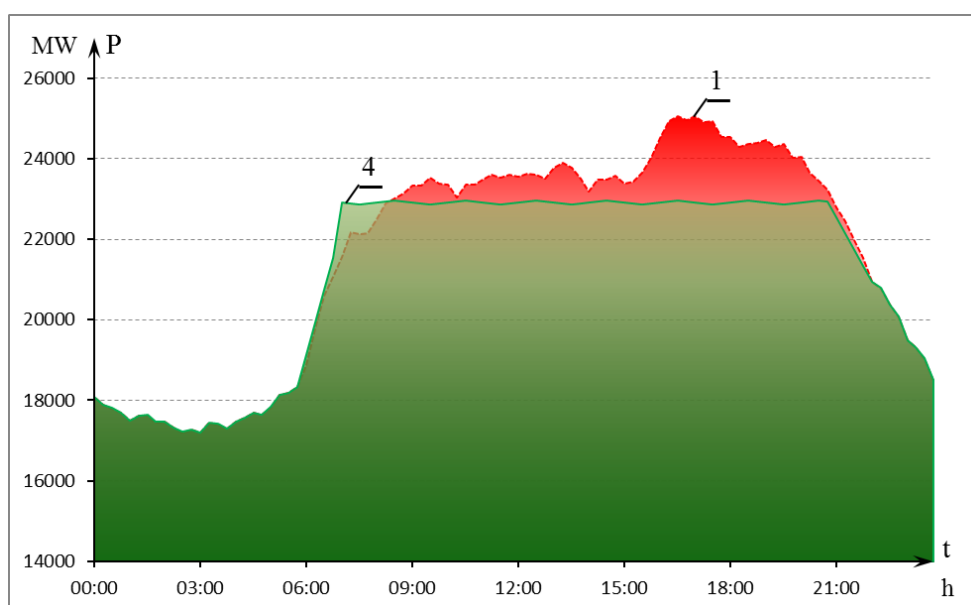
Rys. 21. Zmodyfikowany profil obciążenia KSE (3 - kolor fioletowy) uwzględniający produkowaną przez odbiorców-prosumentów energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii) w stosunku do: zmodyfikowanego profilu obciążenia KSE (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony)

Podobnie jak w poprzednim rozdziale produkowana z OZE energia elektryczna spowoduje zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną pobieraną z KSE, a w konsekwencji umożliwi uzyskanie kolejnego uśrednienia profilu KSE na niższym poziomie mocy (rys. 22).



Rys. 22. Możliwy do uzyskania uśredniony profil obciążenia KSE (4 - kolor zielony) w stosunku do: zmodyfikowanego profilu obciążenia KSE (3 - kolor fioletowy) uwzględniającego produkowaną przez odbiorców-prosumentów energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii), zmodyfikowanego profilu obciążenia KSE (2 - kolor niebieski) i pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony).

Uzyskiwany efekt wykorzystania inteligentnego licznika w zakresie generowania sygnałów sterujących dla odbiorców energii elektrycznej, w tym dla prosumentów, został przedstawiony na rys. 23.



Rys. 23. Możliwy do uzyskania uśredniony profil obciążenia KSE (4 - kolor zielony) w stosunku do pierwotnego profilu (1 - kolor czerwony).

Efekt przedstawiony na rys. 23 w postaci profilu uśrednionego powstaje w wyniku złożenia referencyjnych profili odbiorców, w tym prosumentów, o różnym charakterze jak wspomniani już wcześniej właściciele domów jednorodzinnych i gospodarstw rolnych, ale również budowanych podobnie profili małych i średnich firm, docelowo również np. spółdzielni i wspólnot mieszkaniowych. Profilami pośrednimi staną się wówczas profile stacji transformatorowej SN/nN i sekcji WN w GPZ.

Podobnie jak w przypadku profilu stacji transformatorowej ostatni, uśredniony profil KSE nie dzieli symetrycznie pierwotnego profilu stacji w sensie wartości energii elektrycznej (rozmiary pól profilu pierwotnego powyżej i poniżej wartości uśrednionej wyraźnie nie są sobie równe). Podobnie jak dla stacji transformatorowej jest to związane z faktem uwzględnienia w profilu uśrednionym wartości energii generowanej z odnawialnych źródeł energii (im większa będzie wartość zainstalowanych mocy w odnawialnych źródła energii tym bardziej uśredniony profil KSE będzie się obniżał). Warto zwrócić jednak uwagę na uzyskany efekt - profil uśredniony KSE, wykorzystujący proponowane mechanizmy sterowania z wykorzystaniem licznika inteligentnego według proponowanej koncepcji, uwzględniający również wartości mocy generowanych w odnawialnych źródła energii, pomijając godziny wczesnoranne praktycznie w pozostałych godzinach obciążenia systemu elektroenergetycznego miałyby wartości poniżej dzisiejszych rzeczywistych wartości mocy w KSE, i pojęcie zjawiska obciążenia szczytowego straciłoby swoje istotne znaczenie z punktu widzenia problemów technicznych i kosztowych.

7. Obecne próby wykorzystywania liczników inteligentnych energii elektrycznej

W Polsce podjęte zostały już próby budowy sieci wykorzystujące wcześniej zaproponowane konstrukcje i możliwości liczników inteligentnych. M.in. w podsumowaniu [11] zostały przedstawione wyniki wprowadzenia pierwszego etapu inteligentnego opomiarowania AMI w sieci Energa-Operator S.A. Co prawda w założeniach do budowy systemu przyjęto m.in. że wdrożenie systemu inteligentnego opomiarowania powinno przynieść wymierne korzyści dla odbiorców energii elektrycznej ale w ramach produktów odbiorcom oferuje się głównie: portal www lub aplikację na smartfony umożliwiające monitorowanie zużycia energii elektrycznej, rzeczywiste rozliczenia za energię elektryczną na podstawie rzeczywistych odczytów z możliwością otrzymywania faktur w postaci elektronicznej oraz możliwość zakupu energii w modelu przedpłaconym. Nowe liczniki energii elektrycznej zostały zabudowane już u ponad 400 tys. odbiorców (koszt wymiany liczników i uruchomienia systemu AMI u 108 tys. odbiorców wyniósł 50 mln złotych) ale są to liczniki, które nie oferują zasadniczo nowych usług, z których mógłby skorzystać odbiorca, w szczególności prosument. Wykorzystanie takich liczników nie spowoduje też zasadniczych zmian w systemie elektroenergetycznym, w szczególności w zakresie kształtowania profilu KSE i związanych z nim kosztów - w podsumowaniu [11] podana została informacja, że wprowadzenie systemu AMI spowodowało zmniejszenie zużycia energii u odbiorców w przedziale od 2 do 4%, ale jest to jedyny istotny efekt z punktu widzenia odbiorcy. Pomijając uzyskane efekty w zakresie bieżącego bilansowania poszczególnych części systemu elektroenergetycznego i wykrywania kradzieży a więc obszar zainteresowań operatora, zrealizowany etap budowy systemu AMI nie przyniósł istotnej zmiany w zakresie sterowania i zmniejszania mocy u odbiorców w odniesieniu do informacji cenowej (wysoka cena)

i przedziałów czasowych obciążenia szczytowego, co można bardzo prosto wytłumaczyć: zabudowane liczniki inteligentne nie oferują możliwości generowania sygnałów dla odbiorcy

o charakterze automatycznym a sami odbiorcy wyposażeni zostali w nieefektywne narzędzia w postaci portalu www lub aplikacji na smartfony, które wymagają bieżącej ingerencji odbiorcy. Właściwy licznik inteligentny powinien być dla odbiorcy generatorem sygnałów o charakterze automatycznym.

8. Podsumowanie

Wraz z rozwojem OZE i coraz liczniejszym powstawaniem instalacji PME, problemami bezpieczeństwa energetycznego oraz rosnącymi kosztami energii należy się spodziewać wzrostu zapotrzebowania na nowe usługi związane z rynkiem energii elektrycznej. Tworzeniu nowych usług musi towarzyszyć odpowiednia infrastruktura i związane z nią urządzenia. Oferowane obecnie konstrukcje liczników inteligentnych uniemożliwiają tworzenie takich usług, potrzebne są nowe konstrukcje urządzeń pomiarowych wykorzystujące w części komunikacyjnej nowoczesne środki transmisji danych i dostępu do informacji, z możliwościami parametryzowania dostępnych informacji, programowania sygnałów sterujących i wpływaniem na własny profil czasowy poboru mocy przez odbiorcę w kontekście profilu KSE.

Obecnie licznik energii elektrycznej stanowi podstawę do wystawiania faktur za energię elektryczną, przyszłościowo powinien być źródłem sygnałów sterujących (np. o charakterze pomiarowym) ale również źródłem informacji o charakterze prognostycznym, niezbędnych do właściwego wykorzystywania potencjału tkwiącego w rozwijanych instalacjach PME [12], [13], [14].

W raporcie przedstawiono koncepcję inteligentnego licznika jako urządzenia będącego źródłem sygnałów sterujących dla instalacji odbiorców-prosumentów, które to z kolei sygnały stanowiąc będą podstawę nowych usług w zakresie wzajemnych rozliczeń pomiędzy operatorem systemu dystrybucyjnego a odbiorcą-prosumentem. Realizacja tych usług, zgodnie z analizami przedstawionymi w raporcie, doprowadzi do zmiany profili dobowych obciążeń, w szczególności do zmiany profilu KSE. Proponowane nowe usługi realizowane z wykorzystaniem inteligentnego licznika umożliwią spłaszczenie profilu KSE w okresie aktualnego zapotrzebowania szczytowego (znaczące zmniejszenie zapotrzebowania na moc) i docelowe uśrednienie kształtu profilu prowadzące do likwidacji okresów obciążenia szczytowego w dzisiejszym rozumieniu tego pojęcia.

Metodologicznie modyfikacja profilu KSE może zostać zrealizowana poprzez składanie profili referencyjnych odbiorców, w tym prosumentów. Jak pokazano w raporcie do modyfikacji profilu KSE z wykorzystaniem takiej techniki nie są wymagane wysublimowane narzędzia, wystarczającym jest użycie np. arkusza kalkulacyjnego. Możliwość wykorzystania referencyjnych profili może stać się więc bardzo użytecznym narzędziem w kształtowaniu profilu KSE. Do tego jednak wymagane jest również użycie nowoczesnych technologii w zakresie przesyłania i przekazywania informacji oraz odpowiednie przetwarzanie tych informacji. Takie możliwości oferują dostępne już dzisiaj usługi telekomunikacyjne.

Z drugiej strony licznik inteligentny powinien stać się jednocześnie również narzędziem do symulacji i tworzenia właściwego profilu odbiorcy-prosumenta, a więc profilu w którym następować będzie świadome sterowanie wartością pobieranej mocy oraz wartością energii wytwarzanej lub akumulowanej w ramach prosumenckich mikroinfrastruktur energetycznych PME [15].

W zakresie wspomnianego sterowania istnieją już dzisiaj, lub są na istotnym etapie rozwoju, nowoczesne narzędzia, którymi są coraz bardziej powszechne stosowane przekształtniki energoelektroniczne, umożliwiające kontrolowanie poziomu mocy pobieranej przez odbiorniki oraz internet przedmiotów (IoT), przewidujący łączenie odbiorników w sieć i ich komunikowanie się poprzez internet, umożliwiającą realizację inteligentnego sterowania w zakresie wyznaczania chwil czasu włączania i wyłączania odbiorników.

Źródła

- [1] Karta katalogowa licznika ZMD400xT firmy Landis&Gyr.
- [2] Karta katalogowa licznika EABM firmy Pozyton.
- [3] Strona internetowa grupy Energa: <http://www.energa.pl/dla-domu/obsługa-klienta/tematy-pomocy/zdalny-licznik-nowej-generacji/>
- [4] Strona internetowa grupy Tauron: <http://www.tauron-pe.pl/Dom/Porady-energetyczne/inteligentne-liczniki/Strony/inteligentne-liczniki.aspx>
- [5] Strona internetowa Polskich Sieci Elektroenergetycznych: <http://www.pse-operator.pl>
- [6] Portal Centrum Informacji o Rynku Energii: <http://www.cire.pl>
- [7] Portal Towarowej Giełdy Energii: <http://www.tge.pl>
- [8] M. Fice . [EV jako zasobnik dla EP - koszty magazynowania energii w rzeczywistych zasobnikach.](#) BŻEP (Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej), www.klaster3x20.pl, podstrona CEP, Nr katalogowy 1.3.14.
- [9] R. Wójcicki. *Prosumencka mikroinstalacja fotowoltaiczna na przykładzie domu jednorodzinnego.* Artykuł w monografii „Energetyka prosumencka. Pierwsza próba konsolidacji”, Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, 2014, str. 164-168.
- [10] W. Górny. *Zarządzanie wybranymi odbiorami w gospodarstwie jednorodzinnym.* Repozytorium iLabEPRO, Nr katalogowy 2.3.01.
- [11] Energa Operator. *Podsumowanie pierwszego etapu wdrożenia systemu inteligentnego opomiarowania.* Gdańsk, październik 2014.
- [12] J. Popczyk. [Referencyjny bilans zasobów na polskim rynku energii elektrycznej. Model interakcji EP i WEK \(w kontekście zarządzania i sterowania\) w ramach II trajektorii rozwoju.](#) BŻEP (Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej), www.klaster3x20.pl, podstrona CEP, Nr katalogowy 2.2.01.
- [13] J. Popczyk. [EP od sojuszu polityczno-korporacyjnego do energetyki prosumenckiej w prosumenckim społeczeństwie.](#) BŻEP (Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej), www.klaster3x20.pl, podstrona CEP, Nr katalogowy 1.1.06.
- [14] J. Popczyk. [Doktryna energetyczna.](#) BŻEP (Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej), www.klaster3x20.pl, podstrona CEP, Nr katalogowy 1.1.06.
- [15] K. Dębowski. *Wnioskowanie rozmyte w układzie sterowania prosumenckiej mikroinstalacji energetycznej PME.* Artykuł w monografii „Energetyka prosumencka. Pierwsza próba konsolidacji”, Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, 2014, str. 179-183.

Datowanie (wersja oryginalna) – 1.03.2015 r.