

INFORMATYKA W EP

Robert Wójcicki*

Wprowadzenie. Informatyka stała się już nieodłączną częścią codzienności, przyspieszając obieg informacji, wkraczając w wiele dziedzin życia, zwiększając efektywność przemysłu lub wręcz umożliwiając powstawanie nowych gałęzi gospodarki. Energetyka prosumencka (EP) powstaje m. in. dzięki dynamicznie rozwijającej się elektronice w powiązaniu z coraz szybszymi i lepszymi mikroprocesorowymi układami sterowania, umożliwiającymi połączenie lokalnych mikroźródeł energii z KSE (Krajowy System Elektroenergetyczny). Szybko zmniejszające się koszty urządzeń spowodowały popularyzację prosumenckich systemów typu *on-grid*, które w wielu krajach znalazły już swoje miejsce w systemach elektroenergetycznych. W Polsce system rozproszonych źródeł wytwórczych i energetyka EP znajdują się w początkowej fazie rozwoju, jednak należy przypuszczać, że w najbliższych latach staną się istotną częścią interaktywnego rynku energii elektrycznej [1]. Informatyka będzie wspierać energetykę EP w wielu zakresach. Kluczowe są następujące obszary zastosowań informatyki w EP.

1. Produkcja, magazynowanie i zarządzanie energią pochodzącą z OZE, ze szczególnym uwzględnieniem:
 - energii elektrycznej,
 - ciepła,
 - monitorowania parametrów produkcji i konsumpcji mediów,
 - minimalizacji kosztów konsumpcji energii,
 - elastycznego dostosowywania konsumpcji do dynamicznie zmieniających się cen na rynku energii.
2. Systemy SCADA, nadzoru i kontroli przebiegu procesów zachodzących w mikroźródłach, które pozwolą na:
 - zdalny monitoring,
 - zdalne zarządzanie mikroźródłami, z uwzględnieniem mocy wprowadzanej do sieci w korelacji z chwilowym zapotrzebowaniem,
 - zdalną wizualizację, parametryzację i zarządzanie mikroźródłami.
3. Inteligentne systemy licznikowe, umożliwiające:
 - zdalne odczyty i rozliczenia zużycia wszystkich mediów,
 - integrację z systemami wytwórczymi, magazynującymi, wykonawczymi, IoT,
 - optymalizację kosztową użytkownika mediów, w zależności od dynamicznie zmieniającego się bieżącego i prognozowanego zapotrzebowania, możliwości magazynowania, cen bieżących, kontraktów terminowych na rynku energii itp.
4. Systemy prognostyczne, które ułatwiają zarządzanie lokalnymi zasobami, magazynami energii, źródłami bilansującymi, importem energii z innych krajów, pozwalając na zapewnienie odpowiedniej jakości energii elektrycznej w krajowej sieci elektroenergetycznej w dynamicznie zmieniających się warunkach, ale także umożliwia

* Dr inż. Robert Wójcicki – Instytut Informatyki, Wydział Automatyki Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska

optymalizację wykorzystania lokalnych zasobów przez prosumentów. Dwa podstawowe rodzaje prognozowania wykorzystywane w EP to:

- prognozowanie długoterminowe oparte o:
 - prognozy pogody,
 - trendy i sezonowe zapotrzebowanie,
 - prognozy krótkoterminowe oparte o:
 - prognozy pogody,
 - zdjęcia satelitarne,
 - bieżące pomiary (siatka punktów pomiarowych),
 - bieżącą obserwację (obserwacja i prognozowanie ruchu chmur i zacinienia).
5. Prosumenckie wspólnoty i spółdzielnie energetyczne, które będą korzystały z technologii informatycznych umożliwiających:
- monitorowanie zapotrzebowania i produkcji energii,
 - efektywne zarządzanie zasobami wspólnoty,
 - bilansowanie zapotrzebowania i możliwości wytwórczych.
6. Internet Przedmiotów (ang. Internet of Things, IoT) jako narzędzie wspomagające zwiększania efektywności energetycznej, które spowoduje dalszy rozwój:
- inteligentnych odbiorników energii elektrycznej,
 - inteligentnych, efektywnych energetycznie budynków,
 - prognozowania zapotrzebowania na energię,
 - zarządzania lokalnymi zasobami i magazynami energii,
 - integracji systemów produkcji, konsumpcji, magazynowania i monitorowania energii.
7. Aplikacje na urządzenia mobilne dzięki którym prosumenci będą mogli korzystać ze zdalnego dostępu, monitorowania i sterowania różnymi urządzeniami, pozostającymi pod ich kontrolą, z dowolnego miejsca na świecie.

CASE STUDY – monitorowanie energetyki PV (portal pvmonitor.pl)

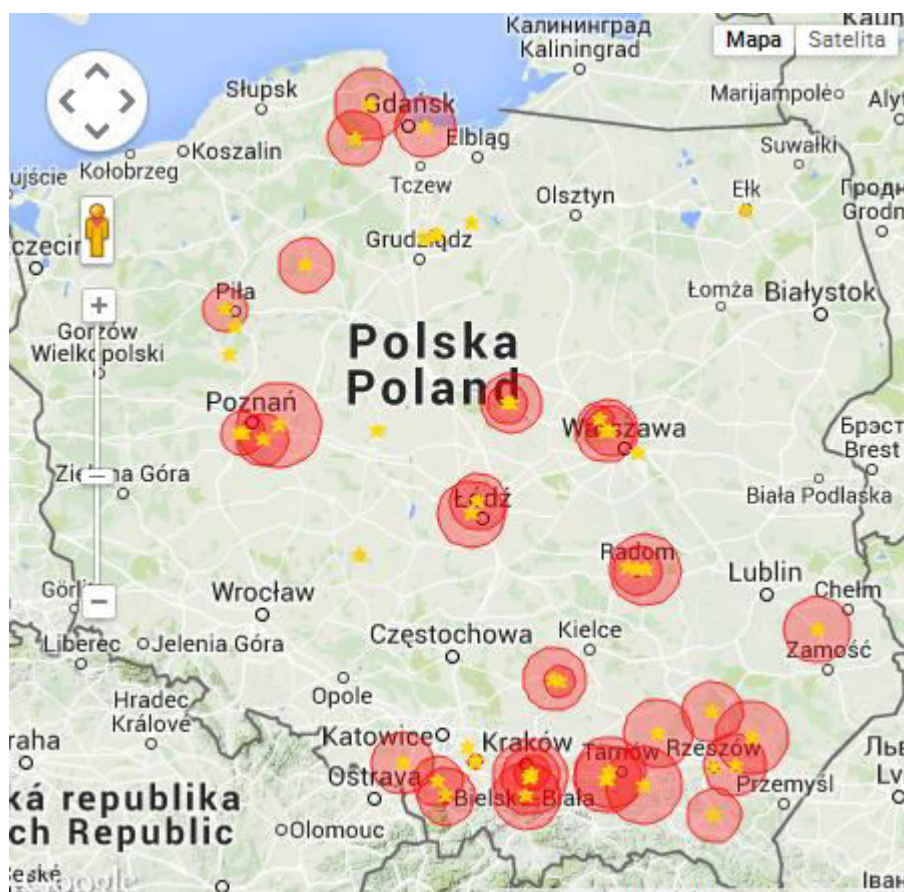
Systemy informatyczne już dziś wspomagają pojawiającą się powoli w Polsce energetykę EP. W niniejszym RAPORCIE omówiono wykorzystanie systemu informatycznego znajdującego się na portalu pvmonitor.pl, przeznaczonego do monitoringu i obrazowania działania prosumenckich instalacji fotowoltaicznych zainstalowanych w Polsce. Na podstawie zgromadzonych przezeń danych, przeprowadzona została analiza wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na kształtowanie profilu KSE (profilu zapotrzebowania na moc).

Wpływ źródeł fotowoltaicznych EP na kształtowanie profilu KSE

Odnawialne źródła energii, zwłaszcza wiatrowe i słoneczne są źródłami niestabilnymi, co w przypadku braku odpowiedniego systemu nadzoru, sterowania i magazynowania, może powodować nieoptymalne wykorzystanie produkowanej przez nie energii elektrycznej, czy nawet problemy z jej wykorzystaniem. Profil produkcji tych źródeł nie zawsze pokrywa się z profilem zapotrzebowania, choć w przypadku ogniw fotowoltaicznych, szczyt generacji energii elektrycznej jest ściśle skorelowany z przedpołudniowym szczytem zapotrzebowania KSE. Najsilniej jest to widoczne w okresie letnim, lecz również w pozostałych okresach ogniwa fotowoltaiczne mają pozytywny wpływ na obniżanie szczytu przedpołudniowego. Niniejsze opracowanie przedstawia analizę wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na kształtowanie się profilu zapotrzebowania na moc KSE o różnych porach roku.

Analiza wpływu fotowoltaicznych mikroinstalacji prosumenckich została wykonana na podstawie danych gromadzonych przez portal <http://pvmonitor.pl>. Portal ten umożliwia bieżącą rejestrację rzeczywistych danych pochodzących z różnego rodzaju instalacji

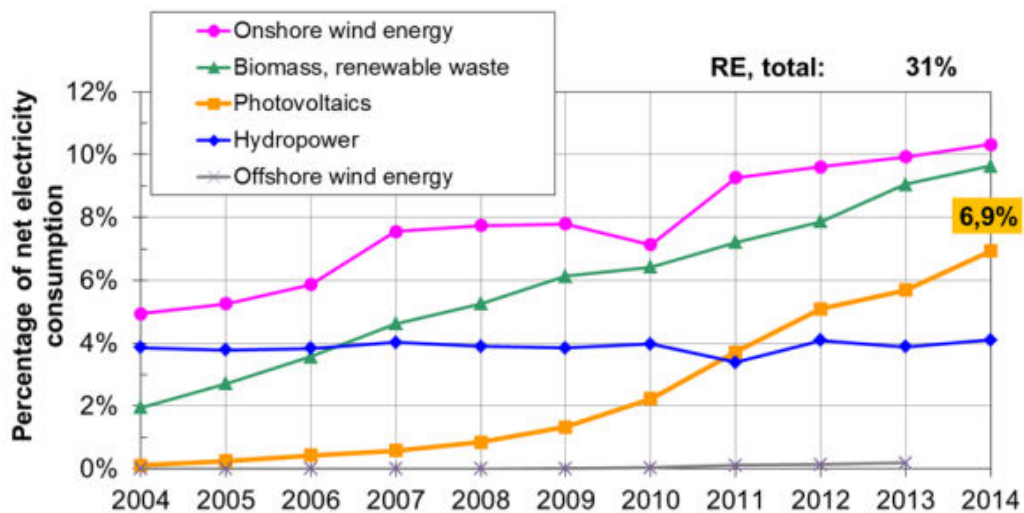
prosumenckich, lecz przeważają w nim instalacje oparte o technologie fotowoltaiczne. Dzięki uniwersalnemu interfejsowi komunikacyjnemu, pvmonitor.pl pozwala na integrację danych pochodzących z urządzeń różnego typu i korzystających z różnych standardów wymiany informacji. Dane mogą być wysyłane i rejestrowane na bieżąco, lecz możliwe są również zbiorcze importy danych, z których w szczególności korzystają użytkownicy portalu. Na początku lutego 2015 roku na portalu pvmonitor.pl zarejestrowanych było 86 instalacji, z czego w lutym pracowało 55 z nich. Ich moc znamionowa wynosiła od kilkuset W, do 40 kW. Podczas analizy wykorzystano dane pochodzące z położonych w różnych rejonach Polski (rys. 1) niekomercyjnych prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych o mocy znamionowej do 10 kW, która jest typowa dla instalacji prosumenckich pracujących w gospodarstwach domowych. Ich głównym celem jest generacja energii elektrycznej przede wszystkim na potrzeby własne właściciela - użytkownika. W związku z rozwojem portalu pvmonitor.pl liczba analizowanych w kolejnych okresach instalacji rosła, a ich średnia moc znamionowa zmieniała się, oscylując jednak w przedziale 3-4 kW. Analizę przeprowadzono dla danych z okresu letniego, zimowego oraz przejściowego, wybierając reprezentatywny dzień dla danego sezonu. W każdym z okresów wyznaczono typową instalację fotowoltaiczną jako średnią spośród instalacji zarejestrowanych na portalu pvmonitor.pl, uśredniono również uzyski osiągnięte przez pracujące instalacje.



Rys. 1. Rozmieszczenie fotowoltaicznych instalacji prosumenckich monitorowanych przez portal pvmonitor.pl w dniu 2015-02-14

Według Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszkań z 2011 roku [2], liczba wszystkich budynków w Polsce w 2011 roku wyniosła 6,1 mln, z czego jednorodzinne budynki mieszkalne stanowiły ponad 90%, gdyż w 2011 roku ich liczba wyniosła ponad 5,5 mln. Zakładając, mimo niesprzyjających uwarunkowań ekonomicznych i formalno-prawnych,

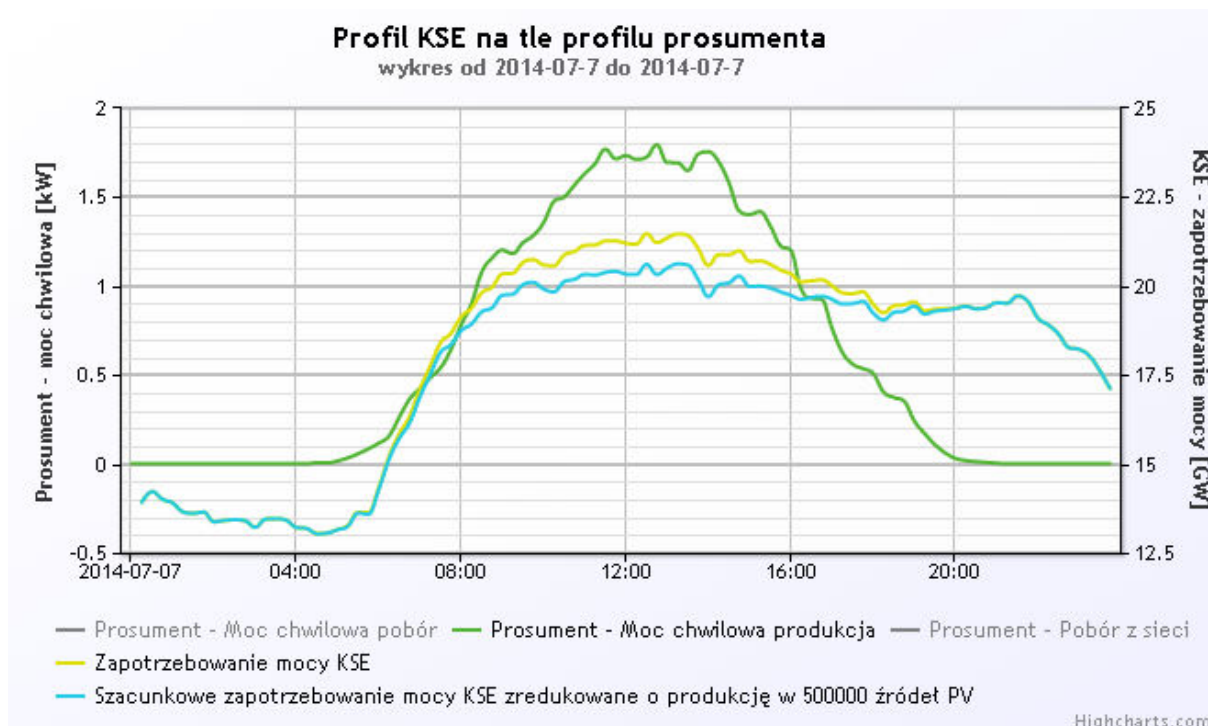
rozwój prosumenckich mikroinstalacji w Polsce i porównując go z rozwojem instalacji fotowoltaicznych w Niemczech sprzed kilku lat (rys. 2), gdzie pod koniec 2014 roku osiągnięto łączną moc znamionową 38,5 GW (liczba instalacji przekroczyła 1,4 mln) realne staje się oszacowanie, że w horyzoncie 2020-2025 liczba mikroinstalacji fotowoltaicznych w Polsce może osiągnąć 500 000 instalacji. Stanowić to będzie około 9% jednorodzinnych budynków mieszkalnych oraz 8% wszystkich budynków. Biorąc pod uwagę ogólnoświatowe tendencje rozwoju energetyki rozproszonej oraz cele emisyjne określone przez Parlament Europejski, należy założyć, że rynek mikroinstalacji fotowoltaicznych w Polsce będzie się dynamicznie rozwijał i w roku 2030 może osiągnąć 2 mln instalacji fotowoltaicznych. Stanowić to będzie mniej niż 36% budynków mieszkalnych oraz 33% całkowitej ilości budynków. Stąd w dalszej części artykułu przeanalizowano wpływ na profil zapotrzebowania KSE 500 tys. oraz 2 mln prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych.



Rys. 2. Udział energii pochodzącej z OZE w konsumpcji energii elektrycznej końcowej w Niemczech [3]

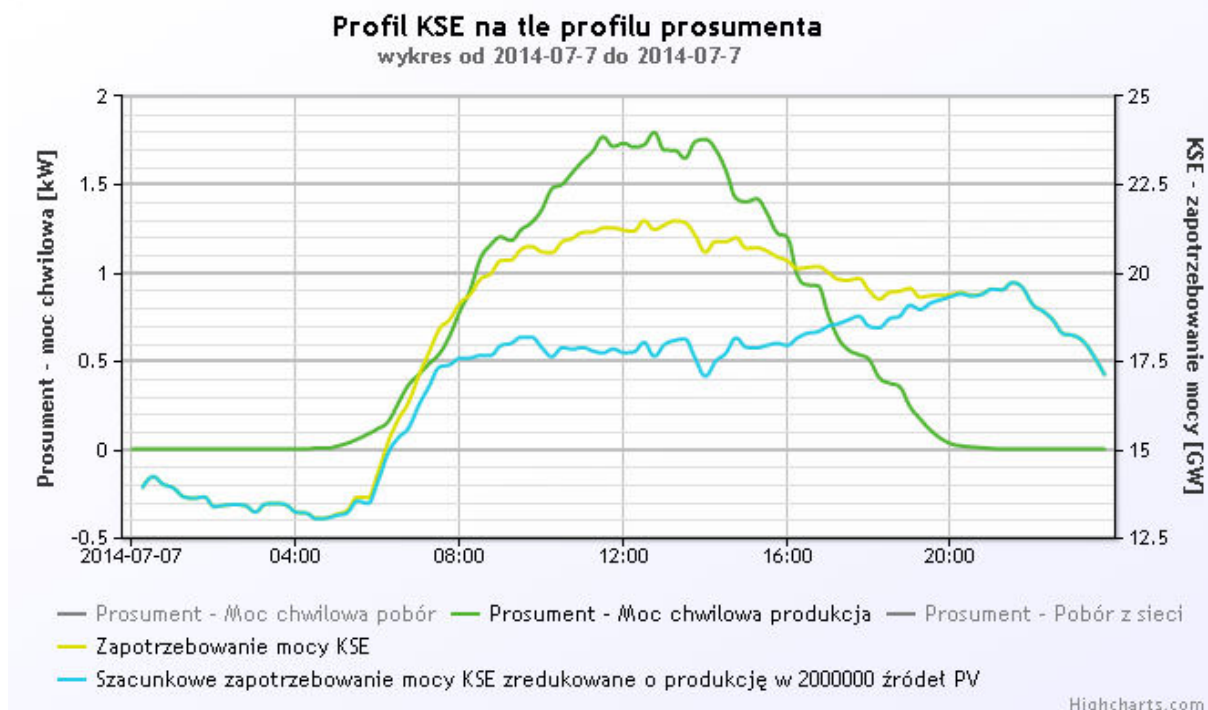
Sezon letni. Sezon letni charakteryzuje się najlepszymi warunkami dla pracy instalacji fotowoltaicznych ze względu na długi dzień, wysokie położenie słońca oraz bardzo częstą słoneczną pogodę. W tym okresie instalacje fotowoltaiczne osiągają największe dobowe i miesięczne uzyski. Również w tym okresie charakterystyka zapotrzebowania mocy KSE kształtuje się w specyficzny sposób, gdyż dzięki długim dniom, zmniejsza się zapotrzebowanie na moc w szczycie wieczornym związanym w dużej mierze z wykorzystaniem sztucznego oświetlenia. W zamian za to, uwypukla się znacząco szczyt przedpołudniowy, bardzo często przewyższając szczyt wieczorny.

Na niżej załączonym wykresie (rys. 3) żółtym kolorem zaznaczono zapotrzebowanie mocy KSE (oś Y po prawej stronie) w dniu 2014-07-07. Zielonym kolorem (oś Y po lewej stronie) zaznaczono uśrednioną moc chwilową 29 niekomercyjnych instalacji prosumenckich o mocy do 10 kW objętych monitoringiem prowadzonym przez portal <http://pvmonitor.pl> zainstalowanych w różnych punktach kraju i pracujących dnia 2014-07-07. Ich średnia znamionowa moc wynosiła 3,8 kW.



Rys. 3. Profil KSE na tle 500 tys. instalacji prosumenckich w lipcu

Kolorem niebieskim oznaczono skorygowane zapotrzebowanie mocy KSE (oś Y po prawej stronie) o prognozowaną moc dostarczaną przez 500 tys. tego typu instalacji o sumarycznej mocy około 1900 MW. W okresie letnim można zaobserwować znaczący wpływ 500 tys. mikroinstalacji na zmniejszenie i wypłaszczenie szczytu przedpołudniowego.

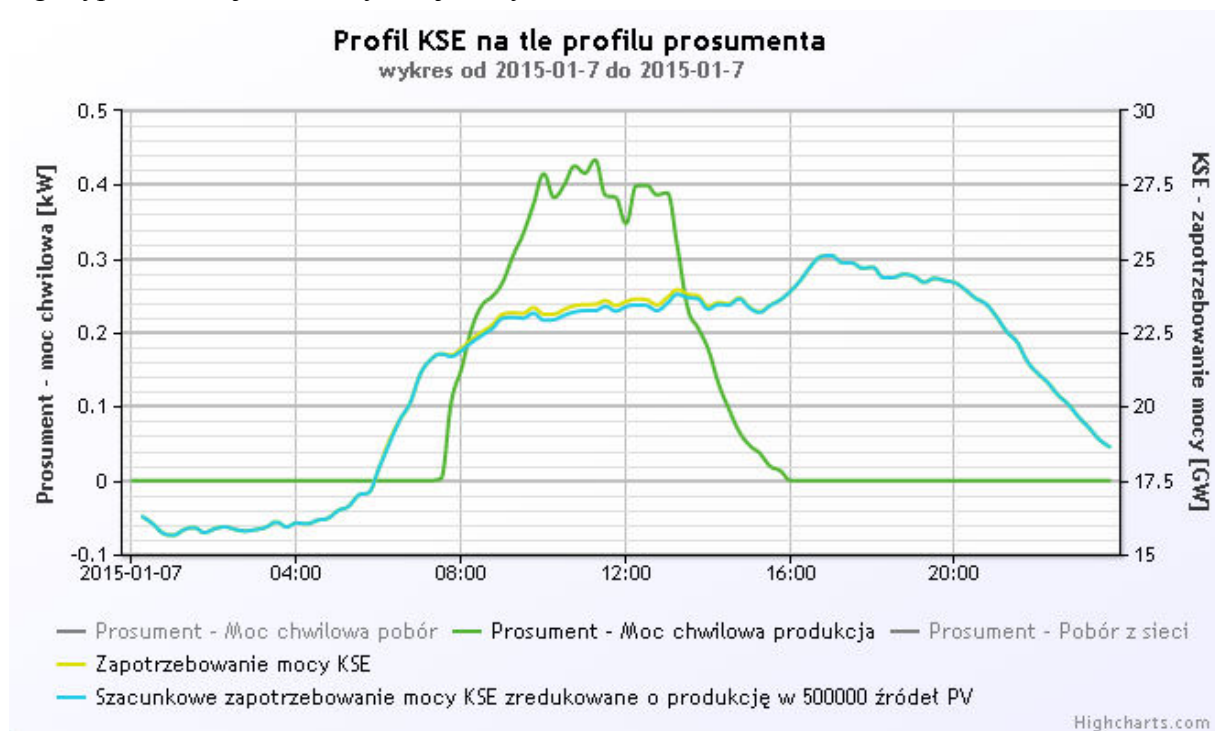


Rys. 4. Profil KSE na tle 2 000 000 instalacji prosumenckich w lipcu

Analogiczną symulację wykonano dla 2 mln mikroinstalacji fotowoltaicznych pracujących po roku 2030 (rys. 4). Na wykresie wyraźnie uwidacznia się pełna redukcja szczytu

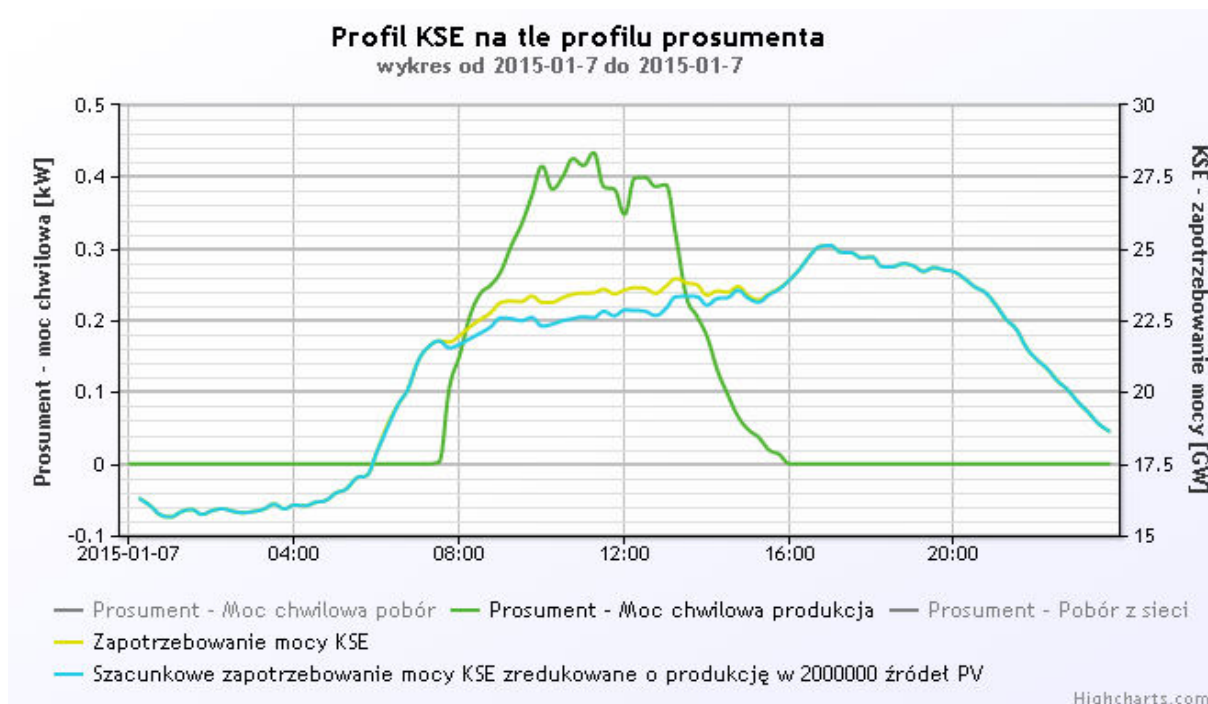
przedpołudniowego (maksymalne zapotrzebowania na moc z KSE obniżyło się o około 16%, z 21,46 GW do 18,17 GW).

Sezon zimowy. Sezon zimowy charakteryzuje się zupełnie innym kształtem profilu KSE. W tym okresie wzrasta całkowite zapotrzebowanie kraju na energię elektryczną, co jest związane z intensywnym wykorzystaniem sztucznego oświetlenia oraz zwiększeniem zapotrzebowania energii elektrycznej do celów grzewczych. Dodatkowo, wraz ze skracającymi się dniami, znacząco uwypukla się szczyt wieczorny, który osiąga najwyższe w skali roku wartości. W sezonie zimowym instalacje fotowoltaiczne działają najslabiej, a w przypadku pokrycia ich śniegiem, generacja energii elektrycznej całkowicie lub prawie całkowicie zanika, więc możliwość kształtowania profilu KSE przez większość sezonu zimowego jest na bardzo niewielkim poziomie. Pojawiają się jednak dni, w których produkcja energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych w sezonie zimowym znacząco wzrasta, lecz takich dni nie jest w ciągu zimy zbyt wiele. Na wykresie (rys. 5) żółtym kolorem zaznaczono zapotrzebowanie mocy KSE w dniu 2015-01-07. Zielonym kolorem zaznaczono uśrednioną moc chwilową 45 niekomercyjnych instalacji prosumenckich o mocy do 10 kW objętych monitoringiem prowadzonym przez portal <http://pvmonitor.pl>, pracujących dnia 2015-01-07. Ich średnia moc znamionowa wynosiła 2,9 kW. Kolorem niebieskim oznaczono skorygowane zapotrzebowanie mocy KSE o prognozowaną moc dostarczaną przez 500 tys. tego typu instalacji o sumarycznej mocy około 1480 MW.



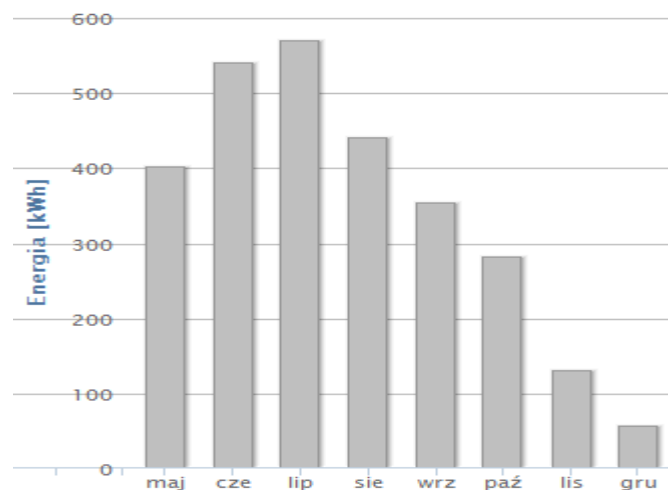
Rys. 5. Profil KSE na tle 500 tys. instalacji prosumenckich w styczniu

W sezonie zimowym wpływ 2 mln prosumenckich instalacji fotowoltaicznych (rys. 6) powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na moc KSE w szczycie przedpołudniowym o około 0,8 GW.



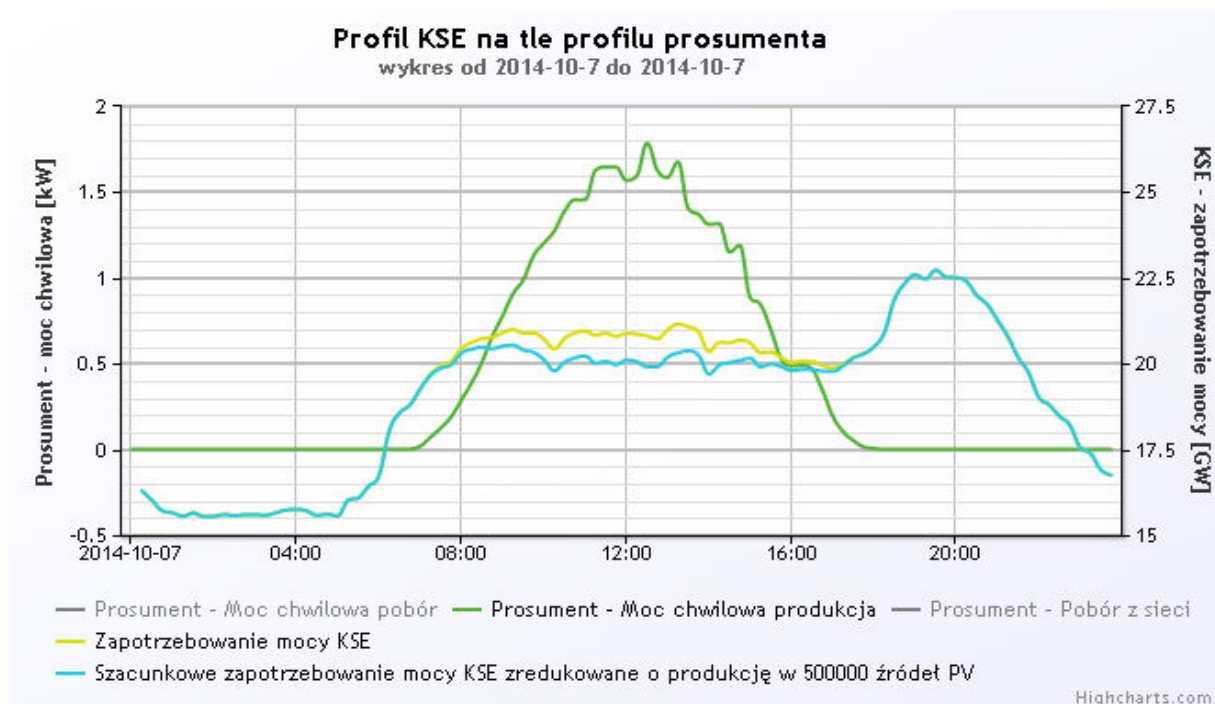
Rys. 6. Profil KSE na tle 2 mln instalacji prosumenckich w styczniu

Sezon przejściowy. Sezon przejściowy charakteryzuje się cechami zarówno sezonu zimowego jak i letniego. Wraz ze skracającymi się dniami profil zapotrzebowania na moc KSE upodabnia się do profilu zimowego ze znaczącym uwypukleniem szczytu wieczornego. W tym okresie, pojawiające się dni w miarę słonecznej pogody, pozwalają na pracę instalacji prosumenckich z dosyć dużą wydajnością, choć ich miesięczne uzyski mogą spaść nawet do połowy miesięcznych maksymalnych uzysków z okresu letniego. Zjawisko to można było zauważyć w październiku 2014 roku dla wielu instalacji fotowoltaicznych (rys. 7).



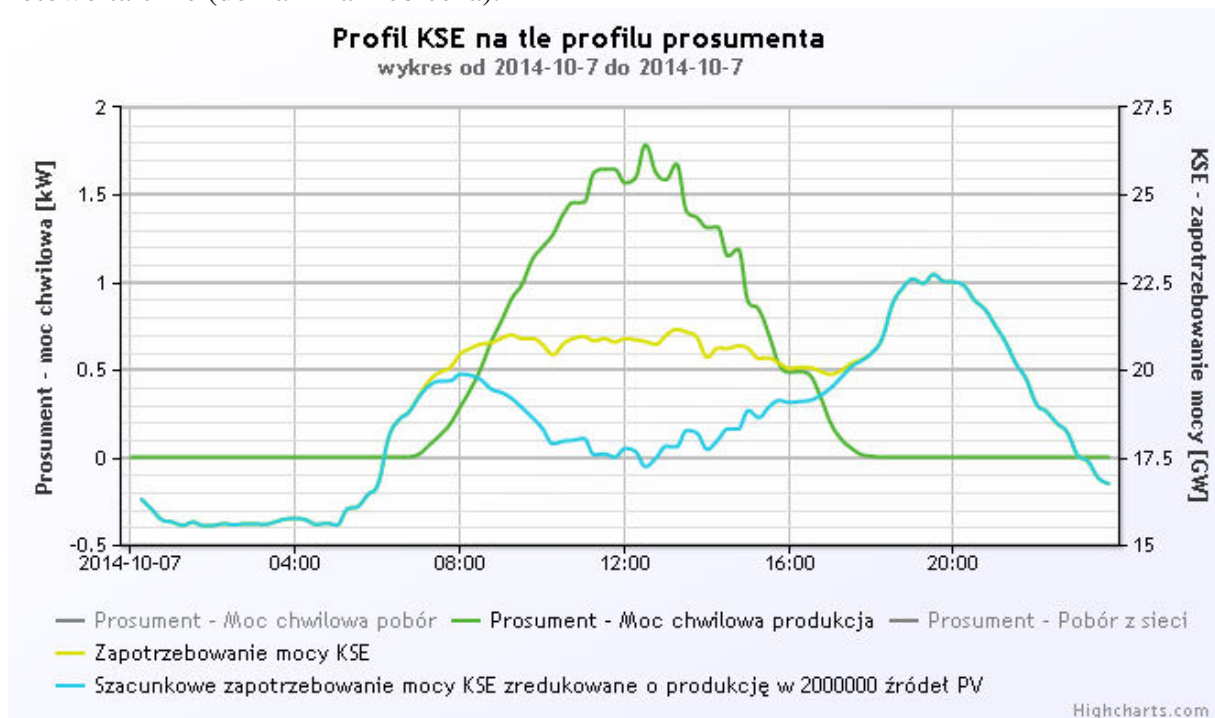
Rys. 7. Wydajność przykładowej instalacji fotowoltaicznej o mocy 4,4kWp w poszczególnych miesiącach 2014 roku

Mimo coraz bardziej niekorzystnych warunków nasłonecznienia można zauważyć dosyć duży wpływ kształtowania przedpołudniowego szczytu zapotrzebowania na moc KSE przez mikroinstalacje fotowoltaiczne. Zamieszczony niżej wykres (Rys. 8) przedstawia prognozowany wpływ 500 tys. mikroinstalacji prosumenckich o mocy 3kWp na profil mocy KSE w dniu 2014-10-07.



Rys. 8. Profil KSE na tle 500 000 instalacji prosumenckich w październiku

Moc chwilowa fotowoltaicznych instalacji prosumenckich została wyliczona jako średnia z 38 niekomercyjnych instalacji objętych monitoringiem na portalu <http://pvmonitor.pl> o mocy znamionowej mniejszej niż 10kWp i pracujących dnia 2014-11-07. Na rzeczywistym profilu KSE z dnia 2014-11-07 (linia żółta wraz z niebieską) wyraźnie odciska się szczyt wieczorny trwający od godziny 17-30 do godziny 21-30, natomiast niewielki szczyt przedpołudniowy zostałyby dodatkowo wygładzony przez prosumenckie instalacje fotowoltaiczne (dolna linia niebieska).



Rys. 9. Profil KSE na tle 2 000 000 instalacji prosumenckich w październiku

Analogiczną symulację wykonano z uwzględnieniem 2 mln mikroinstalacji fotowoltaicznych, gdzie na wyżej zamieszczonym wykresie (rys. 9) widać całkowite zniesienie szczytu przedpołudniowego. W zamian za to, w okolicach godziny 8, uwidacznia się szczyt poranny, który powstaje w wyniku skracania się dnia i późniejszego startu instalacji fotowoltaicznych.

Podsumowanie

Z wyżej zamieszczonych analiz wynika, że prosumenckie instalacje fotowoltaiczne mają duży potencjał umożliwiający znaczącą redukcję przedpołudniowych szczytów w okresie letnim. Wynika to z charakterystyki źródeł fotowoltaicznych, które osiągają największe uzyski w okresach letnich podczas słonecznej pogody. Sprzyja im również długi dzień pozwalający na prace instalacji już od wczesnego rana, aż do późnego wieczora. W tych samych okresach czasu w których uwidaczniają się największe uzyski fotowoltaiki, wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną, gdyż wzmagają swoją aktywność urządzenia klimatyzujące, których popularność w Polsce w ostatnich latach znacząco rośnie. Zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną mają wówczas również pracujące non-stop pozostałe urządzenia chłodnicze, których zapotrzebowanie rośnie również w okresach letnich, podczas słonecznej i gorącej pogody. Do urządzeń tych można zaliczyć wszelkiego rodzaju przemysłowe agregaty chłodnicze, ale również chłodziarki, chłodziarko-zamrażarki, zamrażarki pracujące w gospodarstwach domowych, sklepach, magazynach itp.

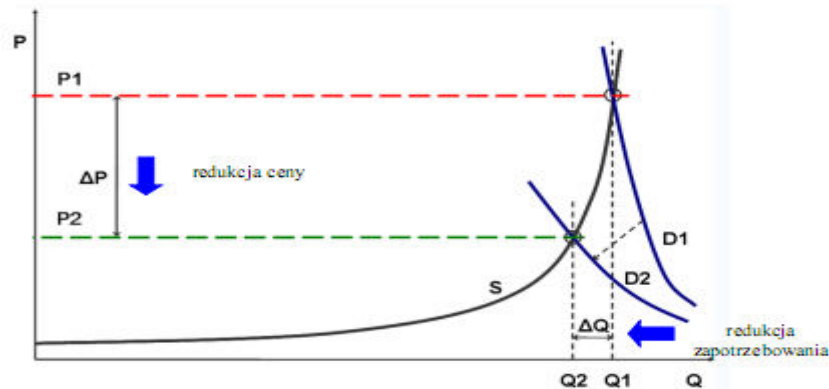
W okresie przejściowym wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych może być również znaczący (rys. 8, rys. 9), choć wtedy najbardziej widoczny staje się szczyt wieczorny, którego fotowoltaika bez użycia magazynów energii nie jest w stanie skorygować. Jednak po roku 2020 szczyt wieczorny zostanie pomniejszony w związku z masowym wprowadzeniem energooszczędnego oświetlenia LED, która to technologia już dziś dynamicznie wypiera istniejące bardziej energochłonne instalacje oświetleniowe. Dodatkowo szczytowe wartości zapotrzebowania na moc KSE będą korygowane przez rozwijające się już dziś systemy magazynowania energii.

Najmniejszy wpływ na kształtowanie profilu KSE prosumenckie instalacje fotowoltaiczne mają w okresie zimowym, choć i w tym wypadku można zauważyć pewien spadek zapotrzebowania na moc w okresie szczytu przedpołudniowego, co jest szczególnie widoczne w analizie wpływu 2 mln instalacji po roku 2030. Oprócz wzrostu ilości instalacji prosumenckich, wpływ na kształtowanie profilu KSE będą w przyszłości miały również mechanizmy zarządzania stroną popytową, które wraz z rozwojem technologii informatycznych będą ewoluowały w stronę mechanizmów coraz bardziej elastycznych i dostępnych dla coraz większej liczby użytkowników, w tym użytkowników indywidualnych, a także instalacji prosumenckich.

PRZEGLĄD SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA STRONĄ POPYTOWĄ (DSM/DSR), wraz z wyodrębnieniem metod użytecznych dla potrzeb zarządzania PME (Prosumencka Mikroinfrastruktura Energetyczna)

DSM (ang. Demand Side Management) określa sterowania popytem na energię elektryczną, które może być prowadzone na różne sposoby. Jednymi z nich są długoterminowe programy prowadzące do zmniejszania zużycia energii elektrycznej poprzez jej oszczędzanie i zwiększanie efektywności energetycznej. Innym podejściem do efektywnego wykorzystania zasobów energetycznych jest kształtowanie krzywej obciążeń, powodujące zmniejszenie szczytów obciążenia systemu energetycznego i spłaszczenie tej krzywej. Ten typ działań określany jest jako reakcja strony popytowej DR/DSR (ang. Demand Response, Demand Side Response). Reakcja strony popytowej ma wpływ na bilans mocy w systemie elektroenergetycznym, może powodować oszczędności, ale też wpływa na ceny energii

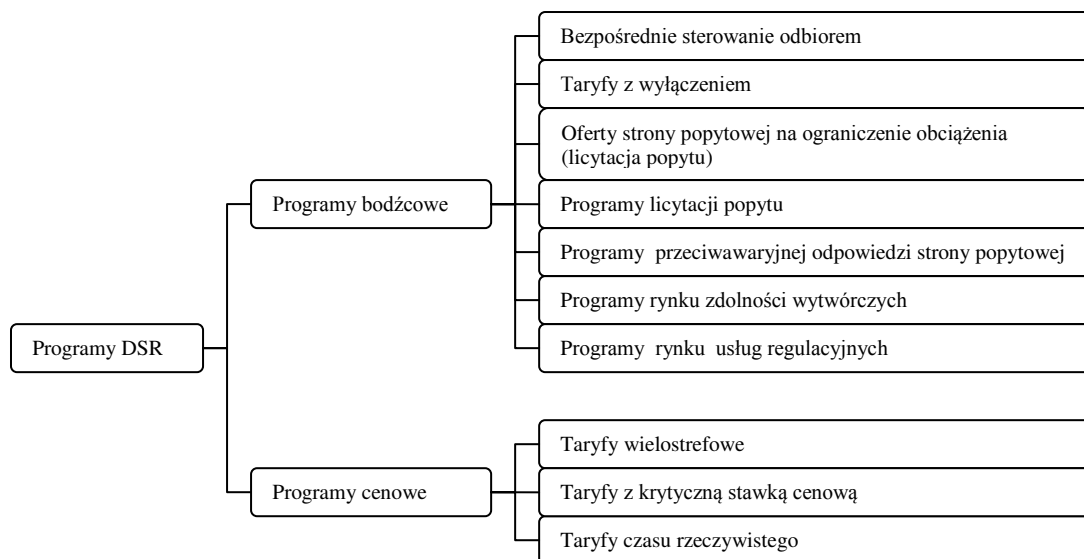
elektrycznej. Rys. 10 przedstawia zależność ceny energii (P) od wymaganej mocy (Q) w zależności zapotrzebowania popytu ($D1, D2$). W przypadku nieelastycznego popytu określonego krzywą $D1$ brak reakcji strony popytowej prowadzi do wysokich cen na energię elektryczną w momentach szczytowego zapotrzebowania. Obniżenie zapotrzebowania w okresie szczytu o stosunkowo niewielką wartość z $Q1$ do $Q2$, powoduje znaczącą redukcję cen energii elektrycznej, co pozytywnie wpływa na funkcjonowanie całego systemu.



Rys. 10. Efekty odpowiedzi strony popytowej na ceny energii [4][8]

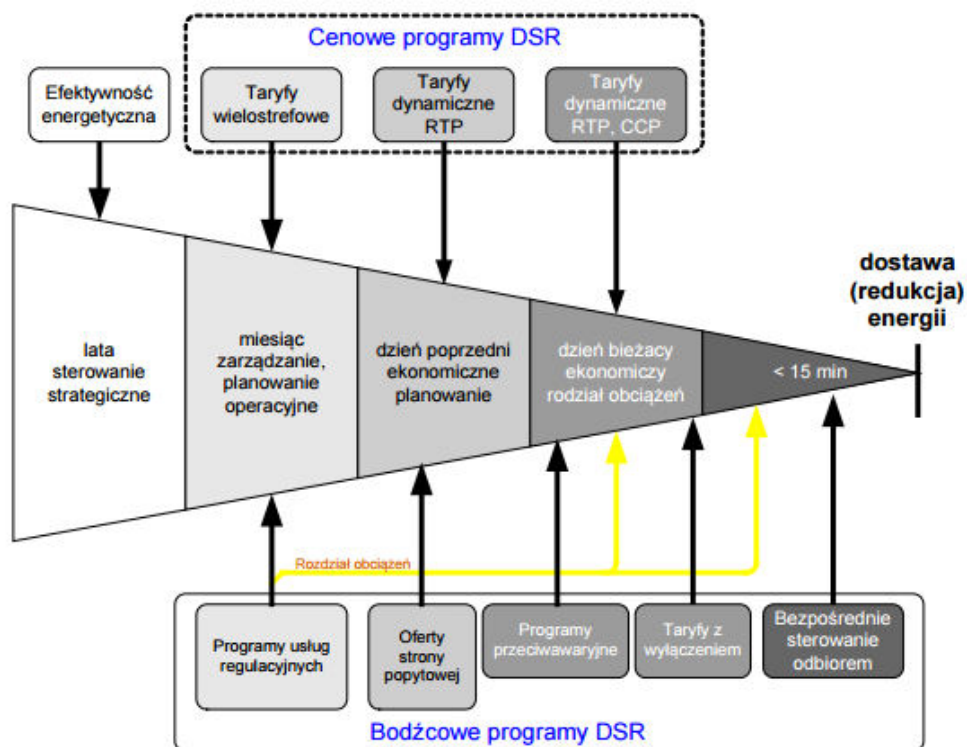
Programy DSR możemy podzielić na następujące grupy [4,5,6,7,9]:

1. Programy bodźcowe (motywacyjne) z ang. Incentive-Based Programs (IBP):
 - bezpośrednie sterowanie odbiorem (ang. direct load control - DLC)
 - taryfy z wyłączeniem (ang. interruptible/curtailable rates - ICR)
 - oferty strony popytowej na ograniczenie obciążenia/ Programy licytacji popytu (ang. demand bidding programs – DBP).
 - programy przeciwwawaryjnej odpowiedzi strony popytowej (ang. emergency demand response programs – EDRP).
 - programy rynku zdolności wytwórczych (ang. capacity market programs - CMP).
 - programy rynku usług regulacyjnych (ang. ancillary services market programs - ASMP).
2. Programy cenowe (taryfowe) z ang. Price-Based Programs (PBP).
 - taryfy wielostrefowe (ang. time-of-use – TOU).
 - taryfy z krytyczną stawką cenową (ang. critical-peak pricing – CPP).
 - taryfy czasu rzeczywistego (ang. real-time pricing – RTP).
 (Taryfy wielostrefowe podobnie jak taryfy CPP i RTP nazywane są często taryfami dynamicznymi).



Rys. 11. Podział programów DSR

Mechanizmy DSM/DSR w różny sposób wpływają na planowanie i sterowanie systemem elektroenergetycznym. DSM wpływa na rynek energii w sposób długookresowy, natomiast za pomocą programów DSR możliwe jest wpływanie na popyt w krótszych interwałach czasowych, co przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Rola DSR w planowaniu oraz sterowaniu systemem elektroenergetycznym [4]

Programy bodźcowe

Programy bodźcowe polegają na interakcji pomiędzy operatorem systemu elektroenergetycznego a odbiorcą, gdzie operator może wymusić na odbiorcy ograniczenie poboru energii elektrycznej o określonej w kontrakcie wartości lub też stosując odpowiedni

sygnał sterujący bezpośrednio wyłączyć pewną klasę urządzeń odbiorcy. Wywołanie określonej reakcji odbiorcy związane jest najczęściej z odpowiednim jego zmotywowaniem. W zamian za uzgodnione korzyści związany umową odbiorca, zobowiązuje się na sygnał operatora zmniejszyć swój pobór energii elektrycznej, a w przypadku gdy nie wywiąże się z podjętego zobowiązania, często może zostać ukarany zgodnie z umową.

Bezpośrednie sterowanie odbiorem (ang. Direct Load Control - DLC). Program polega na zdalnym wyłączaniu odbiorników na pewien okres czasu, w zależności od potrzeb systemu energetycznego, jednak zazwyczaj wprowadzane są ograniczenia na czas trwania i liczbę wyłączeń w określonym przedziale czasowym. W zamian za uczestnictwo w programie odbiorcy otrzymują korzyści w postaci np. zapłaty motywacyjnej. Wyłączanie dotyczy urządzeń o stosunkowo wysokim poborze mocy, jak np. klimatyzacji, podgrzewania ciepłej wody użytkowej, ogrzewania. Programy tej kategorii należą do najstarszych i są najczęściej oferowane gospodarstwom domowym oraz małym przedsiębiorcom. Ten typ programu może być również stosowany w przypadku instalacji prosumenckich, gdzie sygnał sterujący zostanie wysłany przez operatora za pośrednictwem licznika do komputera prosumenckiego PME, który wyłączy urządzenia o wysokim poborze energii elektrycznej.

Taryfy z wyłączeniem (ang. interruptible/curtailable rates - ICR). Tego rodzaju programy polegają na zawarciu z odbiorcą umowy pozwalającej na czasowe przerwy w dostawie pobieranej mocy lub jej redukcję, lecz nie powoduje fizycznego przerwania dopływu energii elektrycznej do odbiorcy. Czas trwania ograniczeń przypada na okresy szczytowe, niskiej niezawodności systemu energetycznego lub wysokich cen energii na rynku hurtowym. Odbiorca jest zobligowany do zmniejszenia poboru mocy na żądanie dostawcy, a w przypadku niewywiązania się z umowy, zazwyczaj może być karany np. poprzez kilkudziesięciokrotny wzrost taryfy za pobraną energię. Taryfy z wyłączeniem stosowane są zazwyczaj dla dużych odbiorców komercyjnych i przemysłowych.

Oferty strony popytowej na ograniczenie obciążenia / programy licytacji popytu (ang. demand bidding programs – DBP). Program zachęca odbiorcę do zaoferowania redukcji obciążenia za cenę, za którą odbiorca jest gotowy obciążenie zredukować. Gdy wybrane oferty odbiorców są tańsze niż inne metody dostarczenia energii elektrycznej, są wtedy przyjmowane przez operatora i tym samym ci odbiorcy są zobowiązani do zredukowania obciążenia. Wymagany jest krótki czas pomiędzy powiadomieniem a zmniejszeniem obciążenia. Ta kategoria programów jest wykorzystywana przez dużych odbiorców przemysłowych i komercyjnych (piece łukowe, urządzenia wentylacyjne, przepompownie), ale również przez generację rozproszoną i zdalnie sterowane urządzenia klimatyzacyjne.

Programy przeciwwaryjnej odpowiedzi strony popytowej (ang. emergency demand response programs – EDRP). Program oferuje zachęty finansowe do zmniejszenia obciążenia przez odbiorców w przypadkach wystąpienia zdarzeń zagrażających niezawodności dostaw energii. Zmniejszenie obciążenia jest jednak dobrowolne. Odbiorca w przypadku reakcji jest nagradzany, natomiast gdy nie zmniejszy swojego obciążenia, to może być ukarany lub nie - zależnie od umowy z operatorem.

Programy rynku zdolności wytwórczych (ang. capacity market programs – CMP). Uczestnictwo w programach tego typu zobowiązuje odbiorcę, w przypadku zaistnienia określonych w kontrakcie warunków pracy systemu, do ograniczenia obciążenia o określoną wielkość. Programy działają zazwyczaj poprzez okresowe aukcje, w których odbiorcy zgłaszają oferty cenowe redukcji obciążenia. W ramach programu zwykle ustala się liczbę

wezwań do redukcji, okno czasowe trwania redukcji, sumaryczny czas trwania redukcji w dłuższym okresie czasu, np. miesiąca. Płatności za redukcje mogą zawierać opłaty bodźcowe zależne od wielkości zgłaszanych redukcji, gdzie opłata może być naliczana za gotowość, niezależnie od rzeczywistych wystąpień redukcji lub za faktycznie wykonane redukcje. Mogą być również przewidziane kary za brak oczekiwanych reakcji ze strony odbiorcy.

Programy rynku usług regulacyjnych (ang. ancillary services market programs - ASMP). Programy umożliwiają uczestnikom zgłaszanie ofert redukcji obciążenia na rynku usług regulacyjnych, zwiększając zakres dostępnej rezerwy operacyjnej. Przyjęte oferty są wyceniane zgodnie z ceną rynkową i opłacane za gotowość. W przypadku konieczności wykonania redukcji obciążenia operator wzywa odbiorcę do dokonania redukcji, która może być opłacona zgodnie z cenami na rynku transakcji natychmiastowych.

Programy taryfowe

Programy taryfowe nie wprowadzają bezpośredniej interakcji pomiędzy operatorem a odbiorcą, lecz odbiorca dobrowolnie dostosowuje swój pobór energii elektrycznej do ustalonych, bądź zmienianych w zależności od warunków rynkowych i pracy sieci taryf. Bodźcami do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej są w tym wypadku bodźce ekonomiczne. Zakłada się, że odbiorca stosujący programy taryfowe zoptymalizuje swoje zużycie energii elektrycznej pod względem kosztowym, zmniejszając pobór w okresach występowania wysokich cen energii elektrycznej związanych ze wzmożonym na nią popytem na rynku i pojawiającymi się w tym czasie ewentualnymi deficytami mocy.

Taryfy wielostrefowe (ang. time-of-use – TOU). Taryfy wielostrefowe polegają na tym, że opłata za energię zmienia się w sztywno określonych okresach doby (dzień/noc), tygodniowo (dni robocze/weekendy), czy sezonowo (lato/zima). Taryfy są ustalane na długi okres przed ich obowiązywaniem, więc nie są skuteczne dla bieżącego zarządzania popytem, jednak mobilizują odbiorców do zmniejszania obciążenia w określonych porach dnia czy tygodnia skorelowanych z okresami szczytowymi. Zwiększenie rozpiętości pomiędzy cenami szczytowymi i pozaszczytowymi zwiększa skuteczność redukcji obciążenia w okresach szczytowych. Taryfy tego rodzaju są chętnie stosowane przez odbiorców indywidualnych w przypadku wykorzystywania ogrzewania elektrycznego lub pomp ciepła wraz akumulacją ciepła w ogrzewaniu podłogowym bądź zasobnikach. Taryfy wielostrefowe jak np. G12 (szczyt 6-12 oraz 15-22), G12e (szczyt 7-13, 15-21), G12w (szczyt 6-12 oraz 15-22 w dni robocze, pozaszczyt w pozostałych godzinach oraz w weekendy, a u niektórych operatorów również w święta państwowe), G13 (taryfa trójstrefowa), są obecnie wykorzystywane przez wielu indywidualnych odbiorców w Polsce i mogą znaleźć zastosowanie również do optymalizacji kosztów pracy instalacji prosumenckich. Ze względu na swoje statyczne, sztywne ramy oraz niską dynamikę zmian zastosowanie ich nie wymaga złożonej infrastruktury teleinformatycznej są one najprostsze do wykorzystania. Do tego celu wystarczą proste sterowniki czasowe włączające i wyłączające urządzenia oraz urządzenia z opóźnionym startem, a przeprogramowanie sterowników jest wymagane zazwyczaj tylko podczas zmiany czasu (zimowy/letni) oraz po zmianie taryfy.

Taryfy z krytyczną stawką cenową (ang. critical-peak pricing – CPP). Taryfy z krytyczną stawką cenową wprowadzają jedną lub dwie dodatkowe, bardzo wysokie, stawki obowiązujące w okresach szczytowych, gdy cena na rynku hurtowym energii elektrycznej jest najwyższa. Odbiorcy są informowani z krótkim wyprzedzeniem o włączeniu mechanizmu i czasie obowiązywania takich podwyższonych stawek. Zamiast podwyższonych stawek

umownych mogą być stosowane ceny z rynku bieżącego. System ten może być uzupełnieniem dla taryf wielostrefowych, ściślej wiążących stronę popytową z aktualną sytuacją na rynku energii elektrycznej.

Ze względu na wymagany szybki czas reakcji pomiędzy pojawieniem się sygnału wprowadzenia krytycznej stawki cenowej a spodziewaną reakcją odbiorcy, wprowadzenie tego typu taryf wymaga zastosowanie odpowiedniej infrastruktury teleinformatycznej i inteligentnego sterowania odbiornikami. Zastosowanie taryf z krytyczną stawką cenową w instalacjach prosumenckich byłoby możliwe po wprowadzeniu tego typu rozwiązań.

Taryfy czasu rzeczywistego (ang. real-time pricing – RTP). Taryfa czasu rzeczywistego przewiduje zmienność cen energii elektrycznej w czasie, w zależności od relacji między podażą i popytem. Stawka za energię elektryczną zmienia się podobnie do stawek rynku hurtowego, a odbiorcy informowani są o obowiązujących stawkach z pewnym wyprzedzeniem – zazwyczaj od jednej godziny do jednej doby. Zastosowanie programu taryf czasu rzeczywistego, podobnie jak w przypadku taryf z krytyczną stawką cenową, również wymaga wdrożenia odpowiedniej infrastruktury teleinformatycznej oraz inteligentnego zarządzania odbiornikami energii w instalacji odbiorcy. W zależności od odstępu czasu pomiędzy ustaleniem ceny energii, a jej obowiązywaniem, powinny zostać uwzględnione odpowiednie reżimy czasowe dotyczące zapewnienia sprawnej komunikacji operatora z odbiorcami, z uwzględnieniem rosnących wymagań wraz ze skracaniem się tej zwłoki czasowej. Przejścia w model z cenami ustalonymi na bieżąco na aktywnym rynku energii wymagać będzie zapewnienia szczególnie sprawnej infrastruktury teleinformatycznej. Jednym z rozwiązań może być przesyłanie przez operatorów w trybie rozgłoszeniowym za pośrednictwem sieci elektroenergetycznej do inteligentnych liczników wybranych grup odbiorców aktualnie obowiązujących cen energii i udostępnienie ich komputerowi infrastruktury prosumenckiej PME.

Wraz z rosnącym udziałem w mikście energetycznym energii odnawialnej pochodzącej z niestabilnych źródeł, program taryf czasu rzeczywistego pozwoli na elastyczne zarządzanie podażą i popytem w silnie zamieniających się warunkach.

INTERNET PRZEDMIOTÓW (IOT) W ENERGETYCE PROSUMENCKIEJ

Koncepcje Internetu Przedmiotów, Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things, IoT) zakładają połączenie większości przedmiotów w inteligentną sieć informatyczną udostępniającą wiele nowych aplikacji i usług. Przedmioty codziennego użytku zaczynają się komunikować ze sobą wzajemnie i ze światem zewnętrznym, korzystają z informacji i usług udostępnianych przez różne serwisy, zbierają i przesyłają dane o parametrach otaczającego je środowiska, reagują na różne zdarzenia pojawiające się w ich najbliższym otoczeniu oraz poza nim. Definicja Internetu Przedmiotów oparta jest na trzech głównych założeniach:

- umożliwienia identyfikacji (każdy przedmiot może się przedstawić, opisać udostępniane dane, usługi),
- zapewnienia komunikacji (każdy przedmiot może się komunikować),
- współdziałania (wszystko może na siebie wzajemnie oddziaływać).

Już dziś obserwujemy dookoła siebie wdrażanie koncepcji Internetu Przedmiotów, gdyż na co dzień spotykamy systemy zdalnego odczytu zużycia energii elektrycznej, wody, ciepła, systemy monitoringu parametrów środowiskowych, systemy monitoringu zdrowia, zabezpieczeń, przeciwpożarowe, antykradzieżowe i wiele innych. Wiele zastosowań Internetu Przedmiotów może już lub będzie w przyszłości wspomagać zwiększanie efektywności energetycznej otaczającego nas świata. Dziś zwiększenie efektywności energetycznej poprzez zastosowanie inteligentnych przedmiotów polega przede wszystkim na inteligentnym i energooszczędnym utrzymaniu i monitorowaniu warunków środowiskowych (przede

wszystkim temperatury, ale i wilgotności, poziomu CO₂, stężenia szkodliwych gazów) w obiektach takich jak budynki mieszkalne, biurowe, handlowe, przemysłowe i inne. Inteligentne przedmioty i czujniki podłączone do sieci informatycznej mogą wspomagać tego rodzaju systemy. Smart Grid – inteligentna sieć elektroenergetyczna może być również beneficjentem technologii Internetu Przedmiotów i wraz z mechanizmami DSM/DSR kształtować profile poboru mocy użytkowników tak, aby jak najwydajniej korzystać z całego systemu elektroenergetycznego. Obecnie w Polsce wdrażane są systemy zdalnego odczytu energii (ang. Automatic Meter Reading) dla odbiorców indywidualnych. Ułatwiają one odczyty i zmniejszają ich koszty ponoszone przez operatorów systemów dystrybucyjnych, lecz nie zapewniają one interakcji pomiędzy odbiorcą a sprzedawcą energii. Jednak w przyszłości Smart Grid wraz z inteligentnymi przedmiotami umożliwią zwiększenie efektywności energetycznej poprzez elastyczne zarządzanie zużyciem energii, stosowanie dynamicznych i elastycznych modeli taryfowych dostosowanych do zmieniającego się zapotrzebowania na energię jak np. programów taryf z krytyczną stawką cenową, taryf czasu rzeczywistego, czy też zawieranie kontraktów terminowych na pobór energii elektrycznej w określonym czasie. Natychmiastowe bilingi po stronie odbiorcy również pozwolą na lepszą kontrolę zużycia energii i ułatwią wprowadzenie oszczędności. Prognozuje się, że dostarczenie użytkownikowi bardzo dokładnej informacji dotyczącej zużywania energii w gospodarstwie domowym wpłynie również na zmniejszenie jej użycia, pozwoli wyeliminować urządzenia lub czynności, które ją marnują.

W przyszłości będą się pojawiać nowe usługi umożliwiające efektywne gospodarowanie energią, w tym energią pochodzącą z odnawialnych źródeł, uwzględniające możliwości wytwórcze, magazynowania oraz prognozy zapotrzebowania na energię, w których ważną rolę będą pełnił sieci domowe HAN (ang. Home Area Network) łączące inteligentne przedmioty w jedną infrastrukturę.

Automatyka budynkowa

Komfort, bezpieczeństwo, elastyczność, energooszczędność, łatwość użytkowania to cechy niezbędne dla systemów automatyki budynkowej, na którą popyt stale rośnie. Systemy automatyki budynkowej mogą łączyć ze sobą wszystkie indywidualne instalacje budynku jak instalacje elektryczne, klimatyzacji, ogrzewania, wodno-kanalizacyjne, oświetleniowe, informatyczne, przeciwpożarowe, antywłamaniowe, monitoringu, zarządzania urządzeniami takimi jak windy, ruchome schody, ale i instalacje wykorzystujące energię odnawialną wraz z generatorami, magazynami, systemami nadzoru itd. Tak połączony system inteligentnego budynku może nie tylko monitorować bieżące działanie, wykrywać awarie, zarządzać zasobami, ale również uczyć się wymagań, które stawiają mieszkańcy i użytkownicy budynku, poznawać ich zwyczaje, by dostosowywać funkcjonowanie wszystkich instalacji do potrzeb osób z nich korzystających, jednocześnie minimalizując koszty i zapotrzebowanie na energię niezbędną do funkcjonowania całego budynku. Korzystając z algorytmów śledzenia stanu, akwizycji danych, prognozowania, optymalizacji, wykorzystując również inteligentne czujniki, urządzenia pomiarowe, dane bieżące i historyczne, pochodzące z budynku i ze świata zewnętrznego, jak np. prognozy pogody, inteligentny budynek może zapewnić odpowiedni mikroklimat i zoptymalizować wykorzystanie zasobów niezbędnych do jego utrzymania i zapewnienia komfortu jego użytkowników.

W zależności od typu systemu automatyki budynkowej możemy wyróżnić systemy częściowo autonomiczne, które będą reagowały na zaobserwowane parametry środowiskowe w stały, zaprogramowany sposób oraz systemy w pełni autonomiczne. Systemy autonomiczne, korzystając z dynamicznego i samouczącego się oprogramowania, automatycznie dostosują się w elastyczny sposób do zmieniających się potrzeb użytkowników budynku oraz parametrów środowiskowych.

Inteligentne przedmioty połączone z siecią Internet wspomagają systemy automatyki budynkowej i umożliwiają zmniejszenie zużycia energii w inteligentnych budynkach. Dzięki nim możliwe jest zdalne monitorowanie urządzeń pracujących w budynku oraz zdalne zarządzanie ich pracą przez przeglądarkę internetową, czy aplikacje na urządzenie mobilne, jak np. telefon komórkowy. Oprócz tego, urządzenia wzajemnie się komunikujące mogą oddziaływać na siebie wzajemnie np. automatycznie włączając system nawadniania, gdy czujniki wilgotności gleby wykryją potrzebę nawodnienia roślin utrzymywanych w budynku, czy też przygotowując budynek na nadejście mieszkańców. Oprócz czujników parametrów środowiskowych, za pomocą etykiet RFID (ang. Radio Frequency Identification) może być śledzone położenie poszczególnych przedmiotów czy osób, i tym samym wywoływanie odpowiedniej akcji w zależności do potrzeb.

Inteligentne czujniki - monitorowanie parametrów środowiska. Jednym z zastosowań inteligentnych przedmiotów jest bieżące monitorowanie parametrów środowiskowych, jak np. temperatury, wilgotności, poziomu dwutlenku węgla, jakości powietrza, zanieczyszczeń, poziomu hałasu, natężenia oświetlenia. W przypadku przekroczenia parametrów poza ustalone normy, system może podjąć odpowiednie działania np. modyfikując parametry ogrzewania, klimatyzacji, czy też wentylacji pomieszczeń lub poinformować użytkowników o pojawiających się ewentualnych problemach. Bieżące monitorowanie parametrów środowiska to nie tylko ich rejestracja przeznaczona do późniejszej analizy, czy bieżącego sterowania budynkiem. Monitorowanie umożliwia również nauczenie systemu automatyki budynkowej wymagań i subiektywnych odczuć jego użytkowników. Mogą oni zasygnalizować automatyce budynku czas i miejsce gdzie czują się komfortowo, kiedy i w którym miejscu budynku jest im za zimno, za ciepło, kiedy np. na spotkaniu odczuwają senność. System inteligentnego budynku analizując subiektywne odczucia i parametry środowiska będzie w stanie określić w jaki sposób je utrzymywać, żeby przy minimalnym zapotrzebowaniu na energię zapewnić ludziom odpowiedni komfort. W ten sposób można osiągnąć zwiększenie efektywności energetycznej budynku i zmniejszyć stopień marnotrawienia energii bez naruszenia komfortu osób przebywających w budynku.

Kolejnym zastosowaniem inteligentnych czujników jest wykrywanie awarii i zagrożeń oraz przeciwdziałanie im. Obecnie często stosowane są czujki przeciwpożarowe, oraz systemy alarmowe informujące odpowiednie służby o zagrożeniach lub włamaniach. Automatyka budynku, korzystając z odpowiednich czujników może również wykrywać inne zagrożenia i awarie, jak np. bardzo niebezpieczne wycieki gazu z instalacji lub butli, awarie instalacji wodociągowych, czy urządzeń i np. związany z nią wyciek wody. W reakcji na takie zdarzenie system może automatycznie zamknąć zawór gazowy lub zasilający w wodę zagrożoną część budynku, a następnie poinformować odpowiednie służby i użytkowników o zaistniałej sytuacji.

Instalacje prosumenckie są kolejną gałęzią zastosowań systemów monitorowania parametrów środowiskowych, których celem jest maksymalizacja wykorzystania produkowanej energii elektrycznej i ciepła pochodzących z odnawialnych źródeł. Ważną kwestią staje się wykorzystanie produkowanej energii na miejscu produkcji i unikanie przesyłania jej na duże odległości. Dzięki temu można nie tylko zmniejszyć koszty utrzymania budynku poprzez efektywnie gospodarowanie energią na miejscu, ale również odciążyć sieci przesyłowe i zmniejszyć szczytowe zapotrzebowanie Krajowego Systemu Energetycznego. Monitorując parametry środowiskowe, obecność i subiektywne odczucia mieszkańców, produkcję energii w instalacji prosumenckiej, zasoby magazynów energii, ceny energii związane z zastosowanymi programami taryfowymi DSR, prognozy pogody, prognozowane zapotrzebowanie na energię, system automatyki budynku jest w stanie na

bieżąco optymalizować zużycie różnych mediów, w tym energii elektrycznej pochodzącej od zewnętrznych dostawców, by obniżyć koszty utrzymania budynku.

Inteligentne czujniki - monitorowanie zużycia energii elektrycznej i innych mediów.

Niski koszt, małe rozmiary, duża elastyczność i łatwość implementacji inteligentnych czujników umożliwiają tworzenie rozproszonych systemów monitorowania zużycia mediów, w tym energii elektrycznej. Obecnie systemy monitorowania zużycia energii elektrycznej są zazwyczaj dużymi i drogimi systemami przeznaczonymi do monitorowania i rozliczania zużycia mediów w dużych organizacjach, jak np. dużych biurach, zakładach, spółdzielniach, wspólnotach. Stosowane są liczniki pomiarowe instalowane na styku dostawcy mediów i odbiorcy, czy też zarządzającego budynkiem i użytkownikiem jakiejś jego części. Powoli wdrażane są też przez Operatorów Systemów Dystrybucyjnych systemy zdalnego odczytu zużycia mediów w indywidualnych gospodarstwach domowych, jednak zazwyczaj bez stałego, bieżącego udostępniania tych danych klientom. Inteligentne czujniki, inteligentne liczniki mediów zintegrowane wraz z automatyką budynku, pozwalają na bieżące monitorowanie zużycia mediów nie tylko na styku dostawcy i odbiorcy, lecz również we wszystkich punktach poboru. Takie narzędzia umożliwiają diagnostykę instalacji elektrycznej wraz z odbiornikami zainstalowanymi w budynku, dzięki czemu łatwa staje się dekompozycja rachunku za energię elektryczną, precyzyjne zidentyfikowanie odbiorników, wraz z czasem ich pracy, znalezienie najbardziej energożernych urządzeń oraz niepotrzebnych wycieków energii. Dane te pozwalają również na przeprowadzenie analiz istniejących systemów i zainstalowanych urządzeń, likwidację błędów w gospodarowaniu energią oraz oszacowanie ekonomicznej opłacalności wymiany poszczególnych urządzeń na bardziej energooszczędne.

Monitorowanie zużycia energii elektrycznej ma szczególne znaczenie w instalacjach prosumenckich, gdyż poza bieżącym śledzeniem zużycia, pozwala na lepsze dostosowanie poboru energii do jej produkcji z odnawialnych źródeł. Niezbędne jest również w przypadku zastosowania szeregu programów DSM/DSR, a w szczególności taryf z wyłączeniem, taryf dynamicznych z krytyczną stawką cenową lub czasu rzeczywistego.

Inteligentne czujniki - monitorowanie produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

Instalacje prosumenckie wyposażone w źródła energii odnawialnej, jak panele fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe, czy magazyny energii, potrzebują również stałego monitorowania parametrów pracy oraz produkcji, dzięki czemu możliwa jest zarówno diagnostyka i wrywanie usterek pracującego systemu, jak również współpraca z pozostałymi urządzeniami znajdującymi się w budynku w celu maksymalizacji zużycia energii elektrycznej pochodzącej z własnych zasobów.

Monitorowanie i zarządzanie urządzeniami oraz instalacjami budynku

Monitorowanie parametrów środowiskowych jest jednym ze źródeł danych dla systemu automatyki budynku, którego zadaniem jest optymalne sterowanie urządzeniami wykonawczymi umożliwiające osiągnięcie niskich kosztów utrzymania budynku i zapewnienia odpowiedniego komfortu osobom w nim przebywającym. Do tradycyjnie instalowanych urządzeń i systemów wykonawczych możemy zaliczyć systemy i urządzenia:

- grzewcze,
- klimatyzacji,
- wentylacji mechanicznej,
- oświetleniowe,
- różnego rodzaju odbiorniki energii elektrycznej, w tym urządzenia gospodarstwa domowego i biurowe,
- ogrzewania i dystrybucji ciepłej wody użytkowej,

- dostawy mediów jak. np. wody,
- zapewnienia bezpieczeństwa budynku.

Oprócz standardowych instalacji, budynki prosumenckie mogą być wyposażone dodatkowo w instalacje wytwórcze i magazynujące wyprodukowaną energię elektryczną. Możemy do nich zaliczyć:

- elementy wytwórcze, jak
 - panele fotowoltaiczne,
 - turbiny wiatrowe,
 - biogazownie;
- inwertery sieciowe łączące instalację wytwórczą lub magazynującą z instalacją sieciową,
- magazyny energii.

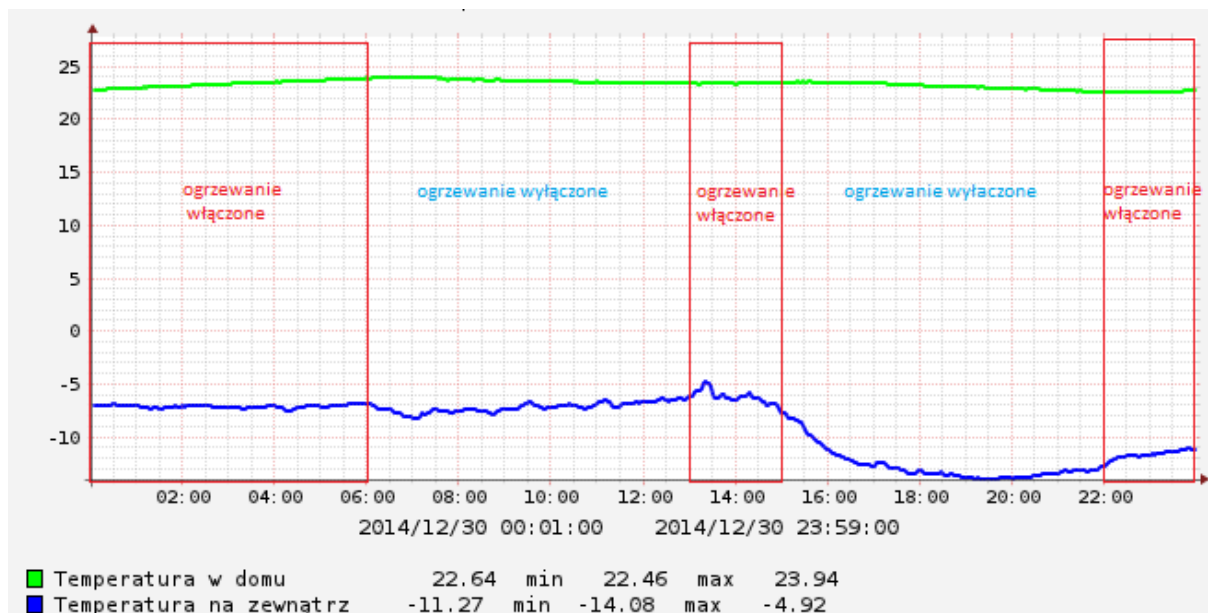
Obecnie wszystkie wymienione systemy najczęściej działają niezależnie od siebie, zapewniając użytkownikom swoją funkcjonalność, lecz pojawienie się prosumenckich instalacji wytwórczych, w celu zwiększenia efektywności energetycznej i zmniejszenia poboru energii ze źródeł zewnętrznych dla całego budynku, kreuje potrzebę współpracy poszczególnych systemów pobierających energię elektryczną z instalacją wytwórczą. Aby zrealizować takie cele, niezbędne staje się wprowadzenie inteligentnych przedmiotów, które komunikując się ze sobą wzajemnie oraz z centralnym ośrodkiem sterowania będą efektywnie korzystały z zasobów generowanych, zmagazynowanych jak i pochodzących ze źródeł zewnętrznych. Technologia Internetu Przedmiotów idealnie nadaje się do tego nadaje.

Instalacje grzewcze. W naszym klimacie instalacje grzewcze odpowiedzialne są w znacznym stopniu za zużycie energii w budownictwie. W rejonach silnie zurbanizowanych, duża część ciepła dostarczana jest z sieci ciepłowniczych. Jednak mimo to, zjawisko niskiej emisji spowodowane spalaniem paliw stałych jest bardzo odczuwalne w dużych miastach, takich jak Kraków, Katowice ale również w rejonach słabiej zurbanizowanych, w tym zabudowanych przez budownictwo jednorodzinne. W budownictwie mieszkaniowym (oprócz ogrzewanego ciepłem z sieci), w tym jednorodzinnym, w zależności od doprowadzonych do budynku mediów zazwyczaj stosowane są źródła ciepła oparte o paliwa stałe oraz gaz ziemny i propan-butan pochodzący z instalacji przydomowych. Wykorzystywanie paliw stałych, najczęściej węgla w różnej postaci, związane jest z produkcją dużej ilości zanieczyszczeń związanych z ich spalaniem, co w bardzo negatywny sposób wpływa na zdrowie mieszkańców i środowisko. Transformacja energetyczna naszego kraju wymaga zmniejszenia udziału paliw stałych, w tym różnych postaci węgla, w mikście energetycznym wykorzystywanym przez budownictwo mieszkalne. Można to osiągnąć poprzez przeprowadzenie termomodernizacji budynków, rezygnację z kotłów opalanych paliwami stałymi, oraz wprowadzeniem instalacji prosumenckich. W zależności od dostępności mediów, niskoemisyjnymi źródłami ciepła mogą być kotły gazowe lub w przypadku braku dostępu do instalacji gazowych, pompy ciepła wykorzystujące energię odnawialną zgromadzoną w ziemi (gruntowe pompy ciepła) lub powietrzu (pompy ciepła typu powietrze-woda i powietrze-powietrze). Instalacje pomp ciepła mogą być również uzupełnieniem do istniejących instalacji grzewczych.

Przejsięcie na przyjazne dla środowiska, niskoemisyjne systemy grzewcze, pociągnie za sobą rozwój systemów inteligentnego sterowania związanego z wykorzystaniem mediów zużywanych na cele grzewcze. Internet Przedmiotów pozwala na poprawę jakości zarządzania energią przeznaczoną na cele grzewcze poprzez monitoring parametrów budynku, ale również poprzez wprowadzenie samouczących się systemów współpracujących z użytkownikami budynku. Ma to duże znaczenie zwłaszcza w przypadku korzystania do celów grzewczych ze stosunkowo drogiej energii elektrycznej. System monitorujący i zarządzający urządzeniami grzewczymi może optymalizować koszty zużycia energii elektrycznej poprzez dostosowanie

poboru do cen energii w danym czasie, możliwości akumulacji ciepła w budynku i buforach, możliwości wytwórczych instalacji odnawialnych źródeł energii, prognoz pogody, bytności czy potrzeb użytkownika. Sterowanie system centralnego ogrzewania może się odbywać poprzez aplikacje na urządzenia mobilne oraz przez przeglądarkę internetową.

Magazynowanie ciepła jest jednym z najtańszych i najłatwiejszych do wykonania sposobów wykorzystania energii elektrycznej na własne potrzeby. Zastosowanie magazynów ciepła w postaci zasobników wypełnionych wodą lub instalacji ogrzewania podłogowego pozwala na magazynowanie nadmiarów ciepła i stabilizowanie temperatury wewnątrz budynku, a zastosowanie odpowiedniego sterowania umożliwi optymalne wykorzystanie energii. Źródłami ciepła mogą być grzałki lub kable grzejne, których mocą można łatwo sterować, lecz bardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie pomp ciepła. Nowoczesne systemy grzewcze wykorzystujące akumulację ciepła np. w ogrzewaniu podłogowym zainstalowane w energooszczędnych, dobrze izolowanych budynkach, pozwalają na całkowicie nowe możliwości. Rysunek 13 przedstawia temperaturę panującą wewnątrz takiego budynku zimą 2014 roku.



Rys. 13 Ogrzewanie z wykorzystaniem taryf wielostrefowych i akumulacji ciepła w ogrzewaniu podłogowym

Budynek jest ogrzewany pompą ciepła o mocy 11kW współpracującą z instalacją ogrzewania podłogowego. Dnia 30 grudnia temperatura zewnętrzna do godziny 14⁰⁰ kształtowała się w okolicach -7°C, a następnie około godziny 19⁰⁰ - 20⁰⁰ spadła nawet do -14°C. Ogrzewanie budynku korzystające z taryf wielostrefowych pracowało od 22⁰⁰ dnia poprzedniego do 6⁰⁰, a następnie w godzinach 13⁰⁰ do 15⁰⁰ oraz od 22⁰⁰, co zostało zaznaczone na rysunku czerwoną ramką. Mimo utrzymujących się do południa na zewnątrz budynku niskich temperatur oscylujących w okolicach od -6°C do -8°C, w godzinach przerwy w pracy ogrzewania od 6⁰⁰ do 13⁰⁰, temperatura wewnątrz budynku spadła tylko od 23,9°C do 23,3°C, czyli o około 0,6°C. Wieczorem godzinach 15⁰⁰ do 22⁰⁰, gdy temperatura zewnętrzna obniżyła się gwałtownie osiągając -14°C, nastąpił dalszy spadek temperatury wewnętrznej o 1°C od 23,5°C do 22,5°C, co mimo braku ogrzewania w tych godzinach zapewniło komfort użytkownikom budynku. Następnego dnia, mimo panujących mrozów poniżej -10°C o godzinie 6⁰⁰ temperatura w budynku powróciła do poziomu 23,6°C, a więc dobowe wahania temperatury wewnętrznej w tak ekstremalnym przypadku dochodziły do zaledwie 1,4°C.

Powyższy przykład pokazuje możliwości jakie pojawiają się przy zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań w połączeniu z programami taryfowymi. Osiągalne staje się pogodzenie komfortu mieszkańców budynku z potrzebami systemu elektroenergetycznego, a tym samym zapewnienie niskich kosztów eksploatacji bezobsługowego ogrzewania. Zalety te będą decydowały o coraz większym udziale tego typu systemów grzewczych u odbiorców. W budynkach tego typu ekonomicznie uzasadnione staje się korzystanie z programów DSR, pozwalających zarządzać stroną popytową dopasowując popyt na energię elektryczną do potrzeb systemu elektroenergetycznego. Racjonalnym staje się wykorzystanie taryf wielostrefowych, ale również programów taryf dynamicznych jak np. taryf z krytyczną stawką cenową, czy nawet czasu rzeczywistego. Aby to umożliwić niezbędna jest integracja systemu grzewczego z informatyczną siecią domową HAN, co może zostać rozwiązane za pomocą IoT.

Ze względu na charakter pracy źródeł odnawialnych, energetyka prosumencka stwarza nowe wymagania dla systemu zarządzania ogrzewaniem budynku. W takim przypadku do efektywnego sterowania nie wystarcza już określenie statycznych czy strefowych taryf oraz inercji budynku, lecz pożądane jest sterowanie systemem grzewczym w połączeniu z prognozowaniem zapotrzebowania i generacji energii elektrycznej z instalacji prosumenckiej.

Na rys. 14 przedstawiono działanie gruntowej pompy ciepła typu on/off o mocy 5kW w skojarzeniu z instalacją fotowoltaiczną, gdzie sterownik analizując chwilową moc instalacji fotowoltaicznej decydował o włączeniu i wyłączeniu pompy w odpowiednim czasie mimo obowiązywania wysokich cen energii elektrycznej w okresie szczytowym. Sterowanie pompą ciepła typu on/off pozwala tylko na jej włączenie i wyłączenie w odpowiednim czasie z uwzględnieniem okresów przerw, które ze względu na trwałość sprężarki powinny być zachowane zgodnie z zaleceniami producenta. Pompy ciepła typu powietrze-woda, powietrze-powietrze oraz klimatyzatory zazwyczaj wyposażone są w jednostki inwerterowe, które umożliwiają zmianę pobieranej mocy a tym samym mocy grzewczej/chłodniczej urządzenia. Jednak duża część tego typu urządzeń nie posiada interfejsów pozwalających na sterowanie mocą przez zewnętrzny sterownik, co dla instalacji prosumenckich byłoby wskazane i umożliwiłoby lepsze dopasowanie poboru energii elektrycznej do zmieniającej się w czasie produkcji. Wprawdzie w okresie zimowym energia produkowana w instalacji fotowoltaicznej nie będzie wystarczająca w znaczącej części pokryć zapotrzebowanie na ciepło, ale dobrym uzupełnieniem instalacji fotowoltaicznej może być turbina wiatrowa, gdyż siła wiatrów wiejących w Polsce w okresach jesienno-zimowych jest największa. Inteligentne sterowanie systemem grzewczym budynku wyposażonym w generator wiatrowy powinno brać pod uwagę prognozy siły wiatrów wiejących w danym rejonie, by maksymalnie wykorzystać energię elektryczną produkowaną w tych okresach. Możliwe jest też kojarzenie energetyki wiatrowej z indywidualnymi odbiorcami energii elektrycznej i zastosowanie taryf czasu rzeczywistego dających odbiorcom dodatkowy bonus w stosunku do taryf wielostrefowych w postaci niskich cen energii w wietrznych okresach.

Instalacje klimatyzacji. Instalacje klimatyzacji są codziennością w nowoczesnych budynkach biurowych i użyteczności publicznej, są również coraz częściej instalowane w budynkach mieszkalnych. Zapotrzebowanie na energię elektryczną systemów klimatyzacji zwiększa w najcieplejsze dni szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną KSE. Dużą korelację z zapotrzebowaniem na chłód wykazują instalacje fotowoltaiczne, które osiągają największe uzyski w długie, gorące letnie dni, co powinien uwzględnić system sterowania instalacją klimatyzacji.

Inteligentne, zdalnie konfigurowalne poprzez urządzenia mobilne i przeglądarki internetowe sterowanie systemem klimatyzacji powinno umożliwiać efektywną energetycznie

pracę, co może być osiągnięte w kilku aspektach. Samouczący system sterowania, poprzez sieć czujników, interakcję z klimatyzatorami i z użytkownikiem, powinien określić komfortowe temperatury pomieszczeń w poszczególnych strefach, biorąc pod uwagę charakter przebywania użytkowników w poszczególnych strefach i ilość energii potrzebnej do jej utrzymania. W zależności od stopnia izolacji i inercji budynku, możliwe jest też przesunięcie zadanych do utrzymania bądź osiągnięcia temperatur w poszczególnych strefach, biorąc pod uwagę sprawność urządzeń klimatyzacyjnych, która spada wraz ze wzrostem temperatury na zewnątrz budynku. Możliwe jest np. silniejsze wychłodzenie budynku w nocy, gdzie energia elektryczna jest tańsza, temperatura na zewnątrz niższa, przez co sprawność klimatyzacji większa, a ze względu na brak nasłonecznienia i różnic temperatur nie występują straty chłodu, następnie za dnia doprowadzenie temperatur do komfortowych dla użytkowników. Wymaga to jednak, by system nauczył się parametrów budynku, działania jego instalacji klimatyzacyjnej, ukształtowania taryf dynamicznych oraz zachowań i potrzeb mieszkańców, czy użytkowników. Pożądana jest również znajomość prognoz pogody, która umożliwi dostosowanie mikroklimatu budynku do mających nadejść warunków zewnętrznych, a także obliczenie i optymalizacja kosztów uzyskania komfortowych warunków poprzez przejście różnymi ścieżkami postępowania z uwzględnieniem energii elektrycznej produkowanej w instalacji prosumenckiej. Możliwe jest również informowanie użytkownika o prognozowanych kosztach utrzymania klimatyzowanych pomieszczeń, ilości energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, stopniu wykorzystania jej na potrzeby własne, jak i wysłanie komunikatów, gdy koszty klimatyzacji przekroczą akceptowalne przez użytkownika progi.

Instalacje prosumenckie generują kolejne możliwości obniżenia kosztów funkcjonowania systemu klimatyzacji. W zależności od bieżącej produkcji energii elektrycznej sterownik może zwiększać lub zmniejszać moc klimatyzatorów, aby w jak największym stopniu wykorzystać energię elektryczną generowaną przez źródła OZE. Internet Przedmiotów może również uprościć sterowanie systemem klimatyzacji eliminując lub zmniejszając znaczenie tradycyjnych pilotów klimatyzacji, zastępując je bezprzewodowymi inteligentnymi czujnikami monitorującymi mikroklimat pomieszczenia, jednocześnie komunikującymi się przez np. podczerwień z tradycyjnymi klimatyzatorami nie zintegrowanymi z całym systemem inteligentnego budynku. Czujniki te, korzystając z technologii RFID lub innej, mogą wykrywać obecność osób w budynku i odpowiednio dostosowywać parametry systemu klimatyzacji.

Oświetlenie. Systemy inteligentnego oświetlenia budynków mogą dostarczyć zupełnie nowych usług w stosunku do tradycyjnego oświetlenia, które może polegać nie tylko na sterowaniu światłem włącz/wyłącz, lecz również na dostosowaniu charakteru oświetlenia, w tym jego barwy, intensywności, lokalizacji do bytności, potrzeb, nastroju i preferencji użytkownika. Internet Przedmiotów dostarcza również narzędzia umożliwiające zdalne zarządzanie oświetleniem przez np. aplikacje na urządzenia mobilne, wykrywanie obecności mieszkańców i automatyczne włączanie oświetlenia w odpowiednich strefach, wykrywanie nieobecności i poprzez losowe załączanie i wyłączanie oświetlenia symulację obecności.

Z uwagi na to, że oświetlenie najbardziej jest wykorzystywane w czasie braku aktywności fotowoltaicznych źródeł energii lub też gdy ich wydajność jest stosunkowo najmniejsza, celowym staje się wykorzystanie systemów magazynujących energię elektryczną. Sprzyja temu również długi czas pracy lecz ze stosunkowo niskim poborem mocy dla nowoczesnych źródeł światła, jakimi są żarówki LED. Oświetlenie takie może być przystosowane do pracy w oparciu o zasilanie prądem stałym o niskim napięciu 12V lub 24V, co ułatwia wydzielenie odseparowanej instalacji pracującej z takimi parametrami. Wydzielenie oddzielnej instalacji dla oświetlenia i zasilenie jej prądem stałym dostosowanym

do wymagań źródeł światła może pozwolić na uniknięcie konwersji prądu stałego pochodzącego z akumulatorów na prąd zmienny o napięciu 230V i ponownej jego konwersji w prąd stały potrzebny do zasilania żarówek LED. Wydzielenie instalacji oświetleniowej dodatkowo ułatwia sterowanie mocą pobieraną przez źródła światła, która może być regulowana w zależności od cen energii, czy poziomu naładowania zasobników.

Inteligentne, efektywne energetycznie urządzenia*

Kurczenie się zasobów naturalnych oraz silna degradacja środowiska wymagają wprowadzania coraz bardziej energooszczędnych technologii w różnych dziedzinach naszego życia. Jedną z nich jest projektowanie, modernizacja oraz budowa inteligentnych, efektywnych energetycznie budynków, dążących do budownictwa pasywnego i zeroenergetycznego. Aby to osiągnąć niewystarczającym jest prowadzenie termomodernizacji w tradycyjnym tego słowa znaczeniu, lecz niezbędne jest szersze spojrzenie na budynek jako funkcjonalną całość. Oprócz typowych prac termomodernizacyjnych, wprowadzania systemów wytwórczych korzystających z odnawialnych źródeł energii, wymiany urządzeń na bardziej energooszczędne potrzebne jest wprowadzenie technologii informatycznych spinających poszczególne systemy i urządzenia w jedną całość, pozwalającą na jak najlepsze wykorzystanie istniejących zasobów. W dużej mierze umożliwia to istniejąca już dziś automatyka budynkowa oraz dynamicznie rozwijające się technologie Internetu Przedmiotów.

Wraz z rozwijającym się konkurencyjnym rynkiem energii współpracującym z energetyką obywatelską, zaczną pojawiać się nowe usługi umożliwiające optymalizację kosztową zużycia energii, w tym energii elektrycznej. Dziś większość odbiorców indywidualnych korzysta z rozliczeń jednotaryfowych, gdzie płaska struktura cen nie wpływa na świadome kształtowanie profilu mocy poszczególnych odbiorców. Odbiorcy indywidualni obawiają się wykorzystania rozliczeń wielotaryfowych, gdyż nie mają narzędzi wspomagających analizy własnych profili zużycia energii, a następnie wyboru optymalnej taryfy. Istnieją też trudności w sterowaniu poszczególnymi urządzeniami, tak by automatycznie pracowały one w sposób pozwalający na osiągnięcie oszczędności przez odbiorcę energii elektrycznej. Jednak wprowadzane w tą dziedzinę technologie informatyczne będą rozwiązywać opisane problemy.

W zależności od pełnionej funkcji, potrzeb użytkowników i trybu pracy, domowe odbiorniki energii elektrycznej można podzielić ze względu na możliwości sterowania nimi na kilka podstawowych kategorii:

- odbiorniki niesterowalne, które ze względu na charakterystykę swojej pracy nie pozwalają na sterowanie nimi w żaden sposób, tzn. ani w sposób on/off, ani na regulację pobieranej przez nie mocy, ani na przesunięcie czasu ich pracy. Spowodowane jest to pełnieniem przez nie niezbędnych lub bardzo ważnych funkcji dla gospodarstwa domowego i jego użytkowników. Do tego typu urządzeń należą np. urządzenia pracujące w trybie stand-by, routery, sterowniki, ale również urządzenia włączane na żądanie jak telewizory, audio-wideo, komputery, konsole do gier itp.
- odbiorniki „zbędne” które można wyłączyć lub zmniejszyć ich moc bez żadnych lub z akceptowalnymi przez użytkowników skutkami ubocznymi. Do tego rodzaju odbiorników można zaliczyć np. wentylatory, telewizory w pomieszczeniach w których nie przebywają użytkownicy, ale również częściowo oświetlenie, które może być przyciemniane w okresach niedoboru lub wysokich cen energii jeśli użytkownicy to akceptują. Ta klasa odbiorników jest bardzo podatna na regulację DSR.

* część rozdziału jest przedrukiem fragmentu opracowania [10]

- odbiorniki o wyznaczonym cyklu pracy, do których można zaliczyć odbiorniki wymagające ciągłego zasilania przez okres wykonywania przez nie zadań i pobierające określoną porcję energii podczas wykonywania swojego zadania. Można do nich zaliczyć np. pralki, pralko-suszarki, suszarki do prania, zmywarki itp. Odbiorniki te mimo, że wymagają nieprzerwanego zasilania podczas cyklu pracy, to bardzo często pozwalają na uruchomienie z określonym przesunięciem czasowym, bądź o zaplanowanej wcześniej określonej porze, gdyż wykonanie przez nie zadań nie wymaga nadzoru użytkownika i najczęściej może on poczekać na efekty pracy urządzenia. Praca takich odbiorników może być łatwo harmonogramowana, tym samym są one podatne na sterowanie i mechanizmy DSR.
- urządzenia o przerywanym cyklu pracy, których praca może być przerwana w dowolnym momencie czasu a następnie po przerwie wznowiona bez lub z niewielkimi skutkami. Do tego typu urządzeń można zaliczyć np. akumulatory pojazdu z napędem elektrycznym lub hybrydowym typu plug-in, czy zasobniki ciepła.
- urządzenia sterowalne, których praca jest kontrolowana przez różnego rodzaju sterowniki kontrolujące np. parametry środowiska i w zależności od nich włączające lub wyłączające urządzenia. Do tej grupy można zakwalifikować systemy ogrzewania, klimatyzacji, podgrzewania wody użytkowej, choć systemy ogrzewania stosujące magazynowanie ciepła mogą być również zaliczone do wcześniejszej kategorii.
- magazyny energii, akumulatory, które magazynują energię w zależności od potrzeb, cen i podaży przez odnawialne źródła energii.

Innym rodzajem podziału urządzeń domowych może być klasyfikacja uwzględniająca sposób sterowania poborem mocy, dzieląca urządzenia na:

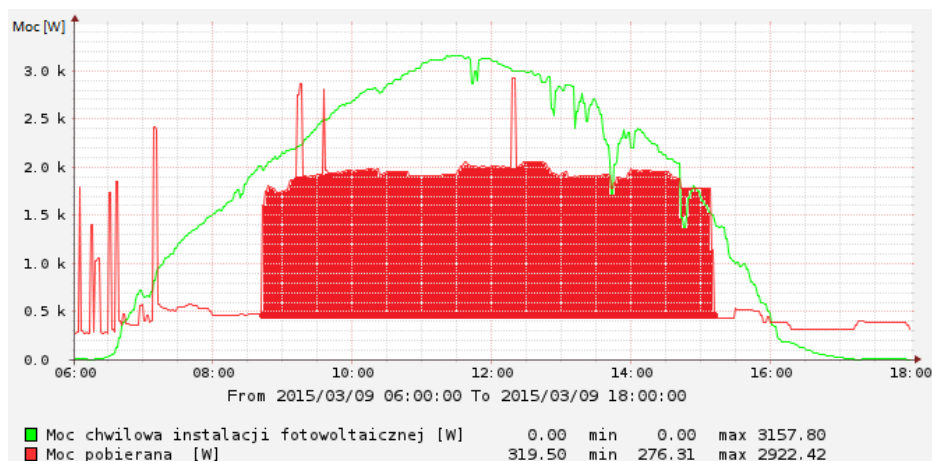
- niesterowalne, wymagające stałej pracy,
- urządzenia on/off, które mogą być włączane i wyłączane o dowolnym czasie, zgodnie z harmonogramem lub w zależności od różnego rodzaju parametrów, np. temperatury wewnętrznej. Przykładowo można do nich zaliczyć pompy ciepła typu on/off, urządzenia wyposażone w elementy grzejne bez możliwości sterowania ich mocą.
- umożliwiające sterowanie mocą, do których można zaliczyć inwerterowe pompy ciepła, inwerterowe klimatyzatory, urządzenia wyposażone w sterowalne elementy grzejne, jak grzałki zasilane sterowalnymi przetwornikami, czy sterowane niezależnie sekcje grzałek. Ta kategoria urządzeń jest szczególnie pożądana w systemach kojarzenia odbiorników z niestabilnymi źródłami energii odnawialnej, jakimi są instalacje fotowoltaiczne. Wiele urządzeń gospodarstwa domowego potencjalnie umożliwiłoby taką regulację pod warunkiem zastosowania odpowiedniego sterowania i odpowiednich elementów wykonawczych. Można by do nich zaliczyć np. pralki, zmywarki, czajniki elektryczne, piekarniki i inne urządzenia wyposażone w elementy grzejne.

We współczesnych budynkach mieszkalnych i użytkowych pracuje duża liczba odbiorników energii elektrycznej należących do różnych kategorii. Część z nich pracuje w sposób ciągły, część okresowo, a część jest włączana na żądanie użytkowników. Niektóre z nich, aby zapewnić użytkownikom odpowiedni komfort, rozrywkę, ułatwić wykonywanie codziennych obowiązków, czy też pomóc w pracy, sterowane są za pomocą systemów mikroprocesorowych. Jednak żadne z nich nie są dostosowane do pracy w instalacjach prosumenckich, gdyż nie posiadają możliwości zarządzania i regulacji odbioru energii elektrycznej współpracujących z taką instalacją. W niektórych wypadkach, jak na przykład w instalacjach grzewczych, stosowane są jedynie ograniczenia czasowe wynikające ze sztywnych grup taryfowych udostępnianych przez Zakłady Energetyczne. Jednak w instalacjach prosumenckich taka regulacja to zdecydowanie za mało. Instalacje prosumenckie wyposażone w niestabilne źródła energii elektrycznej takie jak panele

fotowoltaiczne, czy małe generatory wiatrowe, w celu maksymalizacji wykorzystania energii elektrycznej produkowanej w instalacji OZE, wymagają zupełnie innego podejścia, które będzie brało pod uwagę zarówno wahania dostępnej mocy, jak i czasowe jej ograniczenia. Inteligentne odbiorniki energii elektrycznej, mogłyby się dostosowywać zarówno do warunków pracy i możliwości wytwórczych prosumenckiej mikroinstalacji, jak i do preferencji jej użytkownika, zapewniając wysoki komfort użytkowania oraz ekonomiczną eksploatację. Aby to osiągnąć inteligentne urządzenia powinny pozwalać na:

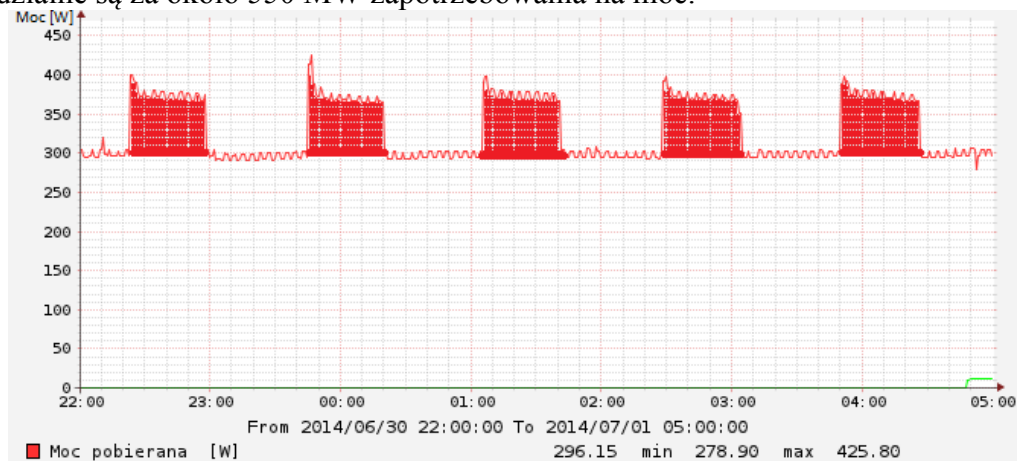
- zmniejszenie pobieranej mocy wydłużające czas pracy odbiornika,
- aktywne sterowanie dopasowujące pobór energii elektrycznej do produkcji w mikroinstalacji,
- wstrzymywanie poboru energii w oczekiwaniu na zwiększenie mocy wytwórczej lub wyłączenie innych odbiorników o wyższym priorytecie,
- harmonogramowanie, priorytetowanie i kolejkowanie pracy odbiorników,
- pracę w kilku trybach, np. komfortowym, elastycznym, energooszczędnym.

Ogrzewanie i klimatyzacja, ciepła woda użytkowa. Systemy centralnego ogrzewania wymagają dostarczenia dużych ilości energii elektrycznej co może pozwolić na lokalne wykorzystanie większości produkcji z instalacji fotowoltaicznej w okresie zimowym oraz przejściowym. Magazynowanie ciepła jest jednym z najtańszych i najłatwiejszych do wykonania sposobów wykorzystania energii elektrycznej na własne potrzeby. Zastosowanie magazynów ciepła w postaci zasobników wypełnionych wodą lub instalacji ogrzewania podłogowego pozwala na magazynowanie nadmiarów ciepła i stabilizowanie temperatury wewnątrz budynku, a zastosowanie odpowiedniego sterowania umożliwi optymalne wykorzystanie energii. Źródłami ciepła mogą być grzałki lub kable grzejne, których mocą można łatwo sterować, lecz bardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie pomp ciepła. Rysunek 14 przedstawia działanie gruntowej pompy ciepła typu on/off o mocy 5kW w skojarzeniu z instalacją fotowoltaiczną, gdzie sterownik analizując chwilową moc instalacji fotowoltaicznej decydował o włączeniu i wyłączeniu pompy w odpowiednim czasie mimo obowiązywania wysokich cen energii elektrycznej w okresie szczytowym. Sterowanie pompą ciepła typu on/off pozwala tylko na jej włączenie i wyłączenie w odpowiednim czasie z uwzględnieniem okresów przerw, które ze względu na trwałość sprężarki powinny być zachowane zgodnie z zaleceniami producenta. Pompy ciepła typu powietrze-woda, powietrze-powietrze oraz klimatyzatory zazwyczaj wyposażone są w jednostki inwerterowe, które umożliwiają zmianę pobieranej mocy a tym samym mocy grzewczej/chłodniczej urządzenia. Jednak duża część tego typu urządzeń nie posiada interfejsów pozwalających na sterowanie mocą przez zewnętrzny sterownik, co dla instalacji prosumenckich byłoby wskazane i umożliwiłoby lepsze dopasowanie poboru energii elektrycznej do zmieniającej się w czasie produkcji.



Rys. 14. Ogrzewanie za pomocą pompy ciepła skojarzonej z panelami fotowoltaicznymi

Domowe urządzenia chłodnicze. Domowe urządzenia chłodnicze jak chłodziarki, chłodziarko-zamrażarki, czy zamrażarki stanowią o znaczącej części zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych. Na rysunku (Rys. 15) przedstawiono charakterystykę pracy domowej chłodziarko-zamrażarki na tle stałego zapotrzebowania na energię w analizowanym gospodarstwie domowym. Można na nim zaobserwować, że analizowana chłodziarko-zamrażarka pracowała w regularnych cyklach włączając się okresowo co około 40-50 minut na około 30-40 minut pracy. Podczas pracy chłodziarko-zamrażarka pobierała około 150W. Biorąc pod uwagę ilość gospodarstw domowych obliczoną przez GUS podczas spisu ludności i mieszkań w 2011r [2] na 13572 tys., zakładając że 80% gospodarstw domowych wyposażonych jest w przynajmniej jedną chłodziarkę bądź chłodziarko-zamrażarkę, można oszacować, że w Polsce pracuje w trybie ciągłym co najmniej 11 mln tego typu urządzeń. Przyjmując cykl pracy jako 1/3 czasu, a średnią moc jako 150W można oszacować, że domowe urządzenia chłodnicze odpowiedzialne są za około 550 MW zapotrzebowania na moc.



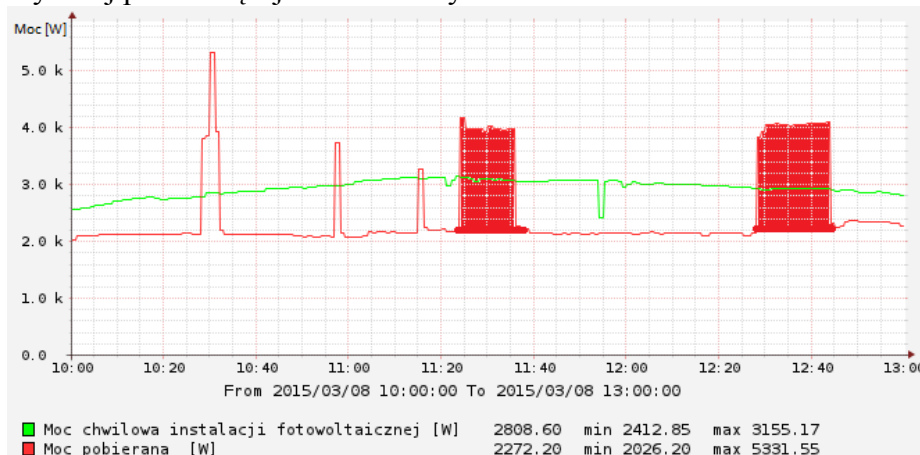
Rys. 15. Charakterystyka pracy chłodziarko-zamrażarki

Obecnie w domowych urządzeniach chłodniczych nie stosuje się żadnych mechanizmów obniżających zużycie energii elektrycznej w szczycie, tym bardziej nie stosuje się mechanizmów synchronizujących zużycie energii z produkcją z odnawialnych źródeł. Korzystając z technologii Internetu Przedmiotów oraz inteligentnego licznika energii elektrycznej, można wprowadzić mechanizmy umożliwiające zmniejszenie w szczycie zapotrzebowania chłodziarko-zamrażarek na energię elektryczną. Wprawdzie w przypadku

domowych urządzeń chłodniczych priorytetem jest utrzymanie odpowiedniego mikroklimatu wewnątrz urządzenia, lecz biorąc pod uwagę bezwładność cieplną chłodziarko-zamrażarek, sterownik analizujący temperatury panujące wewnątrz urządzenia i sygnały pochodzące z inteligentnego licznika, mógłby obniżać częstotliwość lub skracać czas załączania się urządzeń w szczycie. Analogicznie możliwe jest częściowe zsynchronizowanie pracy tego typu urządzeń chłodniczych z produkcją energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej. W przypadku chłodziarko-zamrażarek wyposażonych w inwerterowe agregaty chłodnicze umożliwiające sterowanie mocą chłodniczą urządzenia, inteligentny sterownik mógłby czasowo wyłączać chłodzenie lub zmniejszać do niezbędnego minimum moc chłodniczą agregatu. Inteligentny sterownik chłodziarko-zamrażarki współpracujący z inteligentnym licznikiem mógłby również uczyć się w jakich okresach jakie ceny energii obowiązują i następnie w celu zoptymalizowania kosztów pracy urządzenia, odpowiednio wykorzystywać statyczne lub dynamicznie zmieniające się taryfy. W przypadku dużego nasycenia rynku domowych urządzeń chłodniczych przez inteligentne sterowanie wykorzystujące obowiązujące taryfy energii elektrycznej, wskazane by było wprowadzenie losowo wybranych okresów oczekiwania na załączenie się urządzenia, aby uniknąć jednoczesnego włączenia się wielu urządzeń o tym samym czasie natychmiast po zmianie taryfy.

Urządzenia AGD wyposażone w grzałkę. Część domowych odbiorników energii elektrycznej wyposażona jest w grzałkę, która odpowiada za większość konsumpcji energii elektrycznej przez te urządzenia. Sterowanie nimi powinno umożliwiać nie tylko włączenie i wyłączenie w odpowiednim czasie, ale też regulację mocy pozwalającą na zwiększenie stopnia wykorzystania energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej na potrzeby własne.

Pralki, zmywarki. Pralki i zmywarki należą do urządzeń gospodarstwa domowego o dosyć wysokim chwilowym poborze mocy. Związane jest to z wykorzystaniem grzałek przeznaczonych do podgrzewania wody podczas prania i zmywania. Grzałki te bardzo często osiągają moc około 2kW i pracują zgodnie z odpowiednim programem prania czy zmywania w trybie włącz/wyłącz. Taka praca bardzo często powoduje nieefektywne wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych źródeł.

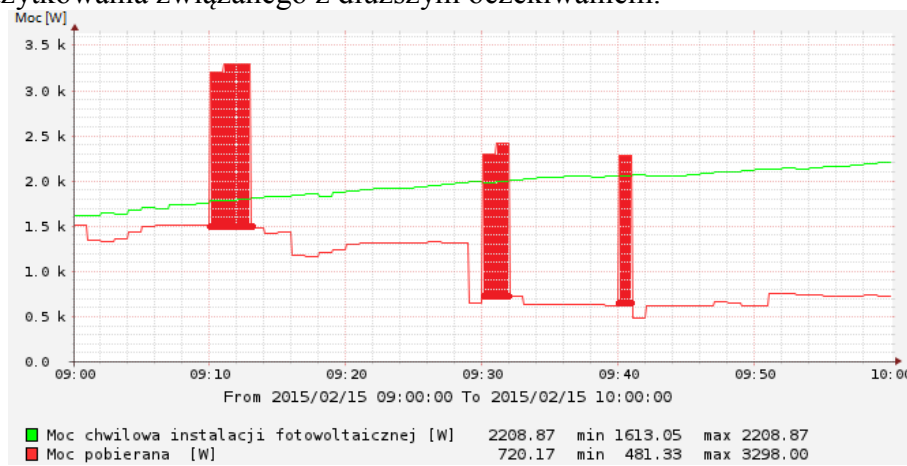


Rys 16. Charakterystyka pracy zmywarki

Przykład takiej nieefektywności można zaobserwować na rys. 16, gdzie urządzenie włączyło grzałkę około godziny 11-20 oraz 12-35, przekraczając w tym czasie możliwość wytwórcze instalacji fotowoltaicznej. Inteligentny sterownik takiego urządzenia mógłby zmniejszyć moc pracy grzałki (stosując sekcje grzałek lub odpowiedni przetwornik), dostosowując ją do

nadmiarów energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej, wydłużając tym samym czas operacji podgrzewania wody. W ten sposób ilość energii pobieranej z sieci mogłaby, dla przypadku przedstawionego na rys. 16, zostać całkowicie lub w znacznym stopniu ograniczona.

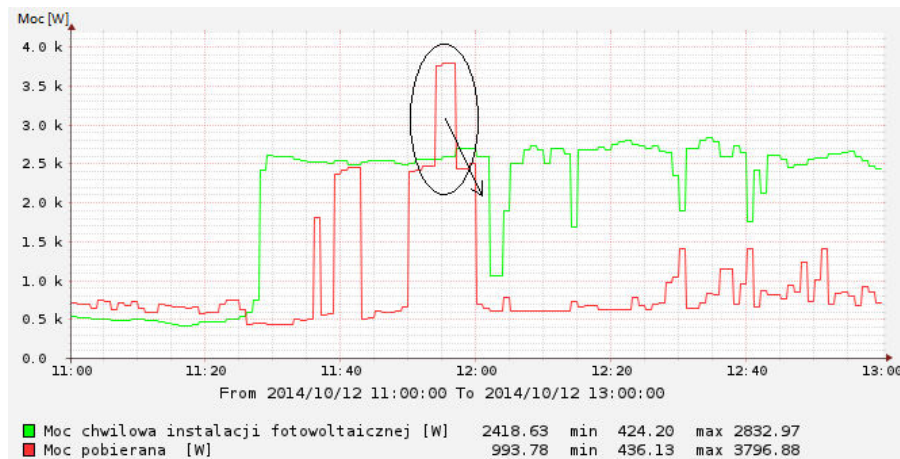
Czajniki elektryczne, tostery, ekspresy do kawy, żelazka. Urządzenia takie jak czajniki elektryczne, tostery, ekspresy do kawy i inne, również należą do urządzeń o wysokim poborze mocy ze względu na zastosowanie w nich elementów grzejnych. Na rys. 16 widać trzy wyróżniające się piki poboru mocy spowodowane przez czajnik elektryczny. Zmniejszenie poboru mocy nawet pierwszego z nich zwiększyłoby procent wykorzystania energii elektrycznej pochodzącej z mikroinstalacji, a dla pozostałych dwóch możliwe by było nawet całkowite ograniczenie poboru energii elektrycznej z sieci bez zauważalnego zmniejszenia komfortu użytkownika związanego z dłuższym oczekiwaniem.



Rys. 16. Charakterystyka pracy czajnika elektrycznego

Kolejkowanie i harmonogramowanie. Inną metodą pozwalającą na zwiększenie wykorzystania energii pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej na potrzeby własne może być zastosowanie kolejkowania pracy poszczególnych urządzeń. Sterownik znając charakterystykę poboru energii elektrycznej poszczególnych urządzeń, monitorując bieżące zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz produkcję instalacji fotowoltaicznej (innej instalacji OZE o wymuszonej produkcji, np. wiatrowej) może przesunąć w czasie uruchomienie kolejnych urządzeń, tak by zapotrzebowanie na moc nie przekraczało możliwości wytwórczych instalacji fotowoltaicznej (innej OZE) lub maksymalnej mocy generatora wykorzystującego akumulatory. W ten sposób mogą być ograniczane lub rozładowywane spiętrzenia zapotrzebowania na moc, przyczyniając się do poprawy współczynnika wykorzystania energii odnawialnej na własne potrzeby (rys. 17).

Kolejkowanie i harmonogramowanie pracy odbiorników najwydajniej będzie funkcjonować wraz z krótkoterminowymi prognozami mocy instalacji fotowoltaicznej. Prognozy mogą być wykonywane na podstawie analizy bieżącego pokrycia i ruchu chmur obserwowanego przez kamerę będącą jednym ze źródeł danych dla systemu sterującego. Umożliwi to efektywne wykorzystanie energii słonecznej również podczas dni ze zmiennym zachmurzeniem, które bardzo często występuje w polskich warunkach i w znaczący sposób obniżają chwilową moc instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 17. Rozładowanie spiętrzenia obciążenia

Literatura

- [1] [Popczyk J.: Model interaktywnego rynku energii elektrycznej.](http://www.klaster3x20.pl) www.klaster3x20.pl (podstrona CEP, BŻEP, dział 1.1.06).
- [2] Narodowy spis Powszechny, <http://stat.gov.pl/spisy-powszechn/nsp-2011>
- [3] Recent Facts about Photovoltaics in Germany
<http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>
- [4] http://www.piio.pl/dok/DSR_Etap_I_przegląd_mechanizmów_DSR.pdf
- [5] http://www.piio.pl/dok/DSR_etap_II_03032010.pdf
- [6] http://www.piio.pl/dok/opracowanie_szczegolowego_rozwiązania_mechanizmów_DSR_dla_KSE.pdf
- [7] http://klaster3x20.pl/sites/default/files/raport_fice_marcin_prosumentcki_potencjal_dsm-dsr.pdf
- [8] US Department of Energy. Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them. Report to the United States Congress, February 2006, < <http://eetd.lbl.gov> > ; 2006.
- [9] F. Shariatzadeh, P. Mandal, and A. K. Srivastava, “Demand Response for Sustainable Energy Systems: A Review, Application and Implementation Strategy,” *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, pp. 343-350, 2015.
- [10] R. Wójcicki, Internet przedmiotów jako narzędzie wspomagające poprawę efektywności energetycznej w fotowoltaicznych instalacjach prosumenckich, oddane do druku, Konferencja Computer Networks - CN2015, June 16-19, 2015, Brunów.

Datowanie RAPORTU (wersja oryginalna) – 09.04.2015 r. (niniejszy RAPORT zastępuje [Zapowiedź RAPORTU], datowaną 23.02.2015).