

REALIZACJA USŁUGI DSR NA PRZYKŁADZIE DOMÓW JEDNORODZINNYCH

Paweł Bućko, Wiktoria Stahl

Słowa kluczowe: reakcja strony popytowej, rynek energii elektrycznej, system elektroenergetyczny

Streszczenie. W artykule przedstawiono ideę usługi DSR, czyli reakcji strony popytowej, dla odbiorców rozproszonych. Polega ona na zmniejszeniu zapotrzebowania na energię elektryczną lub przesunięcia go w czasie. Wdrożenie usługi może w znaczny sposób wpłynąć na pracę systemu elektroenergetycznego – usługa DSR może wspomóc bilansowanie systemu elektroenergetycznego, a także pozytywnie oddziaływać na jego elastyczność, wydajność oraz stabilność. W artykule wykazano możliwy wpływ redukcji zapotrzebowania na energię elektryczną przez mieszkańców domów jednorodzinnych. Oszacowano spodziewany wpływ na obciążenie systemu skoordynowanego wykorzystania zagregowanych możliwości świadczenia usługi DSR przez większą grupę odbiorców indywidualnych w domach jednorodzinnych.

1. WSTĘP

Zapotrzebowanie na energię elektryczną na świecie ciągle rośnie. Wyzwania środowiskowe, wymuszające konieczność zmian struktury wytwarzania, spowodowały konieczność zmiany tradycyjnych wzorców rozwoju systemów. Decentralizacja i deregulacja systemów energetycznych stworzyła nowe uwarunkowania. Wzrost zapotrzebowania na moc stanowi wyzwanie także dla krajowego systemu elektroenergetycznego (KSE). Przewiduje się, że zużycie energii w Polsce będzie nadal rosnąć, co wiąże się z rozwojem gospodarczym kraju. System musi zapewnić ciągłość dostaw odbiorcom przy jednoczesnym zachowaniu elastyczności i stabilności. Ponadto, system elektroenergetyczny został zaprojektowany tak, aby funkcjonować według modelu działania, który dziś znacząco uległ zmianie. Obecne źródła wytwórcze wymagają rewitalizacji oraz dywersyfikacji. Zmiany te narzucane są między innymi przez stosowne rozporządzenia prawne, np. poprzez rozporządzenia Unii Europejskiej (między innymi dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych). Konieczna jest rozbudowa sieci przesyłowej i dystrybucyjnej. Role operatorów i konsumentów również zmieniły się w porównaniu z rolami jakie pełniły kilkadziesiąt lat temu. Zwłaszcza konsumenci – odbiorcy końcowi energii elektrycznej mogą dziś w znaczący sposób wpłynąć na działanie systemu elektroenergetycznego, np. poprzez realizację redukcji popytu. Wynika to z możliwości, jakie daje usługa DSR (ang. *Demand Side Response*) [1].

Usługi DSR wpisują się w szerszą kategorię działań we współczesnych systemach elektroenergetycznych czyli tzw. „sterowanie stroną popytową”, określane najczęściej angielskim skrótem DSM (ang. *Demand Side Management*), które jest jednym z zadań jakie przypisuje się współczesnym przedsiębiorstwom dys-

trybucji i obrotu. Rolą DSM jest takie sterowanie zapotrzebowaniem na moc i energię elektryczną, aby minimalizować koszty rozwoju i eksploatacji systemu elektroenergetycznego. Większość działań ma na celu wywoływanie postaw odbiorców racjonalizujących zużycie energii. Efektem tych działań jest najczęściej uwolnienie mocy szczytowych w systemie i uniknięcie inwestycji po stronie systemu wytwórczego i infrastruktury przesyłowej. Techniki DSM mogą być także alternatywą dla usług systemowych lub zmniejszać zapotrzebowanie na rezerwy mocy dostarczane w postaci usług systemowych.

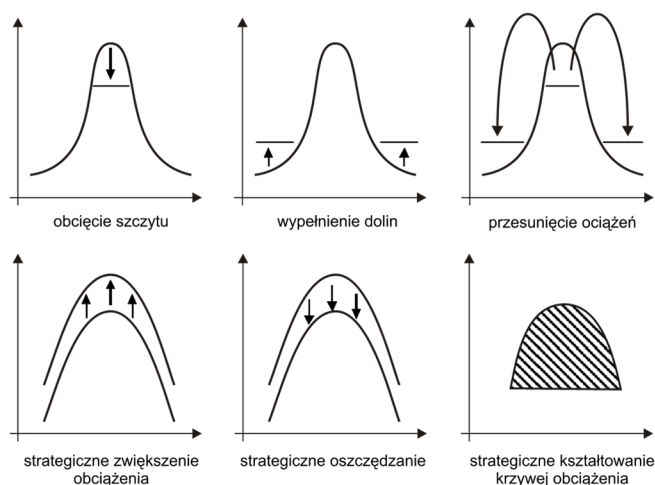
Zmiany w przebiegach zmienności obciążenia systemu, w wyniku zastosowania DSM, można sklasyfikować w kilku podstawowych kategoriach (por. rys. 1), takich jak [2, 3]:

- *obcięcie szczytu* (obniżenie zapotrzebowania na moc w okresach szczytowego obciążenia),
- *wypełnianie dolin* (podstawowym celem jest zwiększenie zużycia energii w okresach pozaszczytowych),
- *przesunięcie obciążenia* (łączy cechy dwóch poprzednich kategorii),
- *strategiczne oszczędzanie* (ma na celu obniżenie całkowitego zużycia energii),
- *strategiczne zwiększenie obciążenia* (dążenie do zwiększenia sprzedaży energii elektrycznej),
- *elastyczne kształtowanie krzywej obciążenia* (opcja, która bierze pod uwagę niezawodność dostaw energii i dostosowanie obciążenia do bieżącej sytuacji systemowej).

Stosuje się następujące strategie sterowania stroną popytową [3]:

- *reakcję cenową* (sterowane urządzenia pracują w taki sposób, aby zminimalizować rachunek za energię elektryczną),

- *dobrowolne ograniczenia* (dostawca energii proponuje odbiorcom ograniczenie zużycia energii w pewnych okresach czasu; udział w programie jest dobrowolny),
- *planowanie pracy* (kontrolowany odbiór energii pracuje zgodnie z założonym planem),
- *limitowanie czasu pracy urządzenia* (np. limit godzin w ciągu doby),
- *zmianę mocy pobieranej przy zadanej nastawie* (zakres pracy urządzenia zależy od pewnych parametrów np. temperatury zewnętrznej),
- *kontrolę stopnia obciążenia odbiornika*,
- *krótko- i średnioterminowe ograniczenia* (w przypadku deficytów mocy w systemie).



Rys.1. Cele sterowania stroną popytową [5, 3]

W wielu systemach wykorzystuje się możliwość zmniejszenia odbioru energii przez odbiorcę końcowego na polecenie dyspozytora systemu jako usługę systemową realizowaną przez odbiorców (DSR). W przypadku dużych odbiorców przemysłowych świadczących usługę obniżenia poboru możliwe są dwa rozwiązania:

- uczestniczą na ogólnych zasadach w rynku usług systemowych, konkurując z wytwórcami,
- proponowane są im inne sposoby rozliczeń np. w formule rynku mocy.

Obecnie w Polsce realizowany jest etap przeniesienia rozliczeń dla takich odbiorców z rynku usług systemowych do rynku mocy. Odbiorcy sprzedają swoje zdolności redukcji zapotrzebowania w okresowych aukcjach rynku mocy dla przyszłych okresów.

Zdolności drobnych rozproszonych odbiorców do pełnienia zadań DSR i DSM wykorzystywane są obecnie w niewielkim stopniu. Podstawowym problemem jest słabość podmiotów, które mogłyby pośredniczyć w pozyskaniu i agregacji takich usług. Działalność w tym zakresie jest niezbyt aktywna. Nie

oznacza to, że po stronie drobnych odbiorców nie ma możliwości technicznych i potencjału ekonomicznego do takich działań. Zagadnienia te są ciągle słabo rozpoznane.

Poza podstawowym celem wdrożenia DSM, jakim jest obniżenie łącznych kosztów dostawy energii, można oczekiwać także efektów dodatkowych, takich jak [3]:

- poprawa regulacyjności systemu,
- wzrost niezawodności dostaw,
- zwiększenie dokładności prognoz zapotrzebowania,
- zmniejszenie ograniczeń przesyłowych,
- lepsze wykorzystanie istniejącej infrastruktury systemowej,
- ograniczenie siły rynkowej dostawców,
- wdrażanie przez odbiorców skutecznych programów zarządzania kosztami energii,
- zmniejszenie ryzyka cenowego, poprzez ograniczenie fluktuacji cen energii,
- zacieśnienie relacji rynkowych odbiorców z dostawcami,
- zwiększenie konkurencyjności gospodarki narodowej.

Efektywne wdrożenie DSR/DSM-u wymaga konkurencyjnie i sprawnie funkcjonującego rynku hurtowego, generującego właściwe impulsy dla rynku detalicznego. Aktualnie rynek hurtowy w Polsce relatywnie słabo realizuje to zadanie.

2. USŁUGA DSR

DSR (ang. *Demand Side Response*) jest to usługa polegająca na zmniejszeniu zapotrzebowania na energię elektryczną lub przesunięcia go w czasie przez odbiorcę końcowego (stronę popytową), w odpowiedzi na zmiany cen energii elektrycznej lub na polecenie operatora systemu przesyłowego. Usługa DSR jest wykorzystywana w celu wspomaganie równoważenia podaży i popytu na energię elektryczną przez planistów i operatorów systemu już od lat 70. XX wieku. Obecnie zaobserwować można zwiększenie się zainteresowania usługami umożliwiającymi redukcję popytu. Poszukuje się możliwości wdrożenia takiej usługi także dla rozproszonych, drobnych odbiorców energii elektrycznej. Przyczynił się do tego rozwój i inwestycje w sieci inteligentne (ang. *Smart Grid*) oraz masowa instalacja inteligentnych liczników.

Zwiększenie zainteresowania rozproszonymi usługami redukcyjnymi wiąże się nie tylko z rozwojem technologii informatycznych oraz komunikacyjnych, ale z ważnym aspektem usług DSR jakim jej poten-

cjał poprawienia wydajności i niezawodności systemu dystrybucyjnego.

W godzinach występowania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną sytuacja bilansowa jest szczególnie zagrożona. W takich sytuacjach stosuje się wszelkie środki zapewniające ciągłość dostaw energii elektrycznej, takie jak np. rezerwa zimna czy też praca interwencyjna elektrowni szczytowo-pompowych. Wykorzystanie usługi DSR również może się przyczynić do wspomaganie bilansowania zapotrzebowania. Przykłady zastosowania rozwiązań opartych na reakcji strony popytowej jako metod stabilizacji systemu w innych państwach (między innymi w Wielkiej Brytanii [5], Stanach Zjednoczonych [3], Czechach) potwierdziły zalety tych usług, jakimi są efektywność, elastyczność oraz przewidywalność. Wdrożenie usług redukcyjnych pozwoliło także na ograniczenie budowy kolejnych źródeł wytwórczych.

Swój udział w usłudze DSR może mieć każdy podmiot, który posiada możliwość redukcji zapotrzebowania lub jego przesunięcia w czasie. Musi on być przyłączony do sieci elektroenergetycznej oraz zostać zweryfikowany przez operatora systemu [6, 8, 9].

3. PRZYKŁAD REALIZACJI USŁUGI DSR PRZEZ DOM JEDNORODZINNY

Usługa DSR może być realizowana nie tylko przez duże przedsiębiorstwa przemysłowe. Odpowiedni efekt redukcyjny można uzyskać włączając do usługi gospodarstwa domowe np. w domach jednorodzinnych [11], pod warunkiem masowego udziału takich odbiorców w świadczeniu usługi. Zagregowanie możliwości wielu niewielkich odbiorców może przełożyć się na istotny efekt systemowy. Wymaga to uczestnictwa podmiotów pośredniczących lub wdrożenia lokalnych procedur bilansowania.

Zgodnie z założeniami DSR, reakcja odbiorców polegająca na zmniejszeniu lub przesunięciu zapotrzebo-

wania na moc może być realizowana na polecenie operatora systemu (OSP, OSD) lub w odpowiedzi na zmieniające się ceny energii elektrycznej (reakcja cenowa). W niniejszym artykule rozpatrywany będzie przypadek czasowego zmniejszenia zapotrzebowania na energię elektryczną na polecenie operatora systemu elektroenergetycznego (OSP, OSD), przekazywanego przez agregatora usługi.

Stosowne obliczenia wykonano na podstawie bazy danych rejestracji zapotrzebowania na moc dla domu jednorodzinnego. Odczyt zapotrzebowania jest przedstawiony w odstępie minutowym. Ponadto baza zawiera dane dotyczące poboru mocy przez urządzenia przypisane do czterech grup:

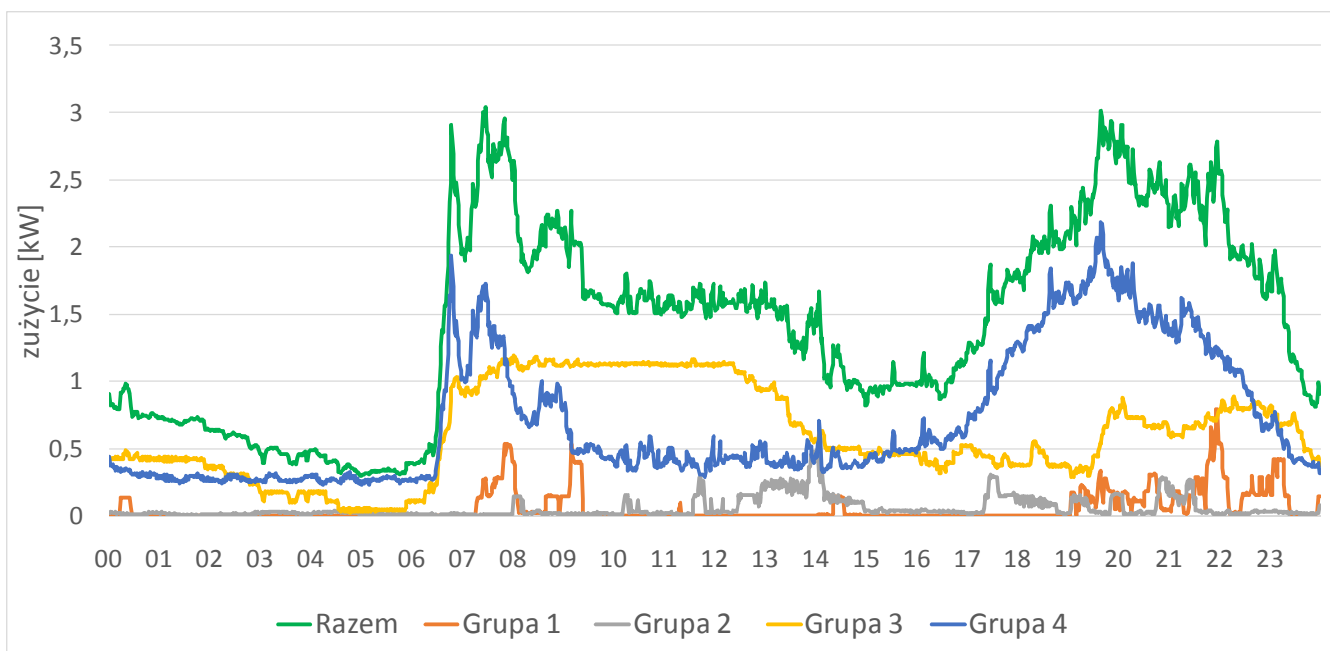
- Grupa 1 - zmywarka, piekarnik, kuchenka mikrofalowa,
- Grupa 2 - pralka, suszarka, lodówka,
- Grupa 3 - podgrzewacz wody, klimatyzator,
- Grupa 4 - pozostałe urządzenia (telewizor, komputer i inne).

Z bazy wyodrębnione zostały dane dla stycznia 2010 roku. Na ich podstawie zostały opracowane krzywe, reprezentujące średni dobowy pobór mocy przez wszystkie urządzenia znajdujące się w domu dla dnia roboczego tego miesiąca oraz średni dobowy pobór mocy przez każdą grupę urządzeń. Krzywe te zostały przedstawione na rysunku 2.

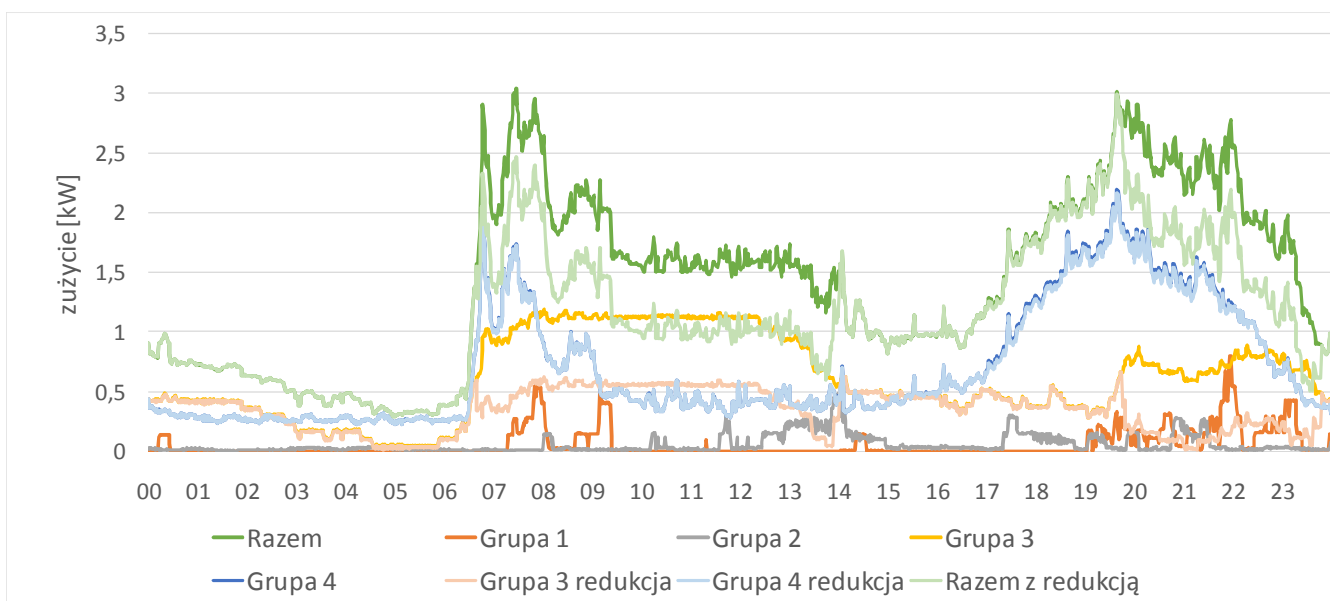
W związku z założeniem realizacji usługi DSR przyjęto że użytkownicy urządzeń zrezygnują w określonych godzinach z używania komputera, telewizora, routera (urządzenia z grupy 4) oraz nie będą wykorzystywać klimatyzatora (urządzenie z grupy 3) na cele grzewcze. Przyjęte moce urządzeń pochodzą z ich danych katalogowych. Moce poszczególnych urządzeń, ich pobór mocy oraz okresy czasu, w których mieszkańcy domu zrezygnują z ich użytkowania przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Dane urządzeń, które wytypowano do redukcji zapotrzebowania na moc

Urządzenie	Moc urządzenia [W]	Okres wyłączenia	Ilość godzin pracy w dobie [h]
Klimatyzator	3000,0	6:40 – 14:00 19:45 – 23:00	11,3
Telewizja	114,0	6:45 – 7:45 17:00 – 22:00	6
Komputer	180,5	17:00 – 22:00	5
Router	3,0	00:00 – 24:00	24



Rys. 2. Średnia doba robocza stycznia 2010 – dobowe zapotrzebowanie na moc



Rys. 3. Średnia doba robocza stycznia 2010 – dobowe zapotrzebowanie na moc z uwzględnieniem redukcji zapotrzebowania

Kolejnym etapem było przedstawienie wyników redukcji zapotrzebowania na moc na wykresie. Na rysunku 3 zostały przedstawione nowe krzywe zapotrzebowania – uwzględniające redukcję, na tle krzywych pierwotnych.

Na podstawie różnicy obciążenia, które przedstawiają krzywe pierwotne i zmodyfikowane (uwzględniające obniżenie zapotrzebowania), obliczono ilość zredukowanej energii w okresie doby. Ilość zredukowanej energii wynosi około 6,5 kWh (w dobie roboczej zimowej).

Redukcję zapotrzebowania próbowano przeliczyć na skalę większej ilości domów jednorodzinnych. Według danych opracowanych przez Główny Urząd Sta-

tystyczny [7] w Polsce jest około 5 milionów domów jednorodzinnych. Przyjęto, że w ramach usługi DSR, obniżyć zapotrzebowanie będzie 15% z nich, czyli ok. 75 tysięcy domów. Wynika stąd potencjał zredukowanej energii elektrycznej wynoszący około 4800 MWh w ciągu doby. Zmiany jakie zaszyłyby na wykresie obciążeń całego systemu elektroenergetycznego w wyniku redukcji zapotrzebowania na moc przez 15% domów jednorodzinnych, zostały przedstawione na rysunku 4.

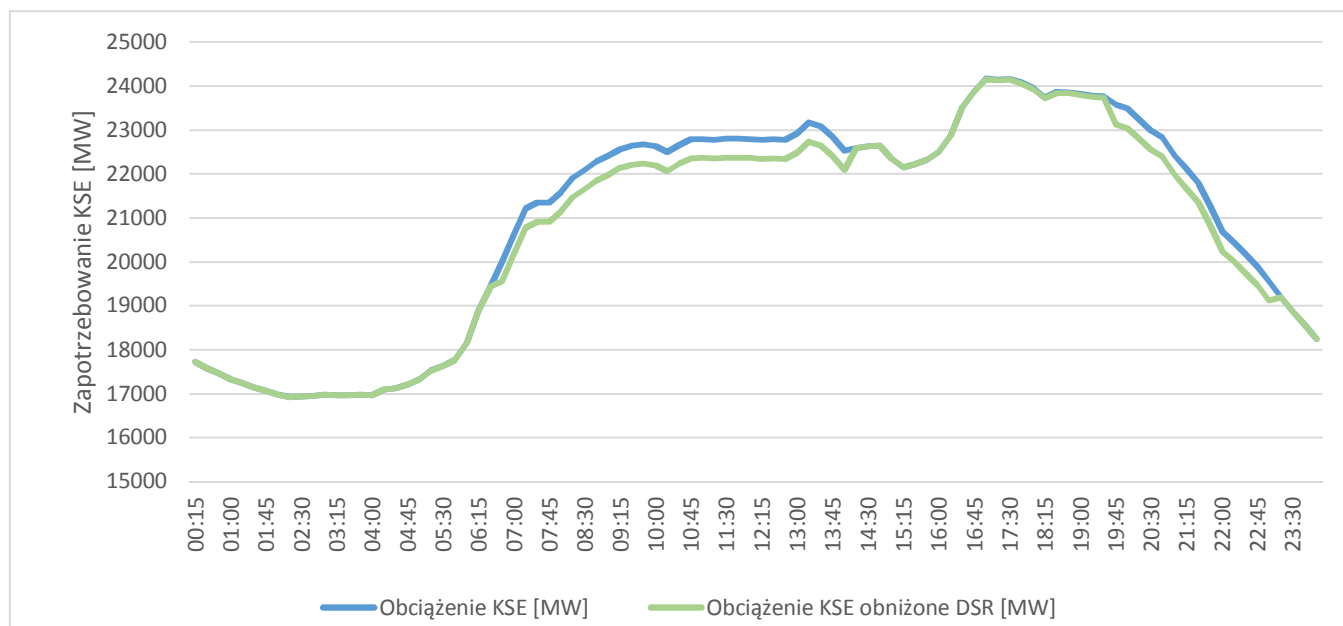
Redukcję zapotrzebowania można osiągnąć w tej grupie odbiorców w okresie szczytu rannego i schodzenia ze szczytu wieczornego. Nie uzyskano istotnego obniżenia obciążeń szczytowych systemu elek-

troenergetycznego, które w tym okresie roku przypadają we wczesnych godzinach popołudniowych.

W wyniku wykorzystania zdolności redukcji zapotrzebowania w grupie ok. 15% odbiorców, uzyskano redukcję zapotrzebowania systemu na poziomie ok. 300 MW, w niektórych okresach doby. Oszacowano,

że taka grupa odbiorców jest możliwa do zmobilizowania pod warunkiem zaproponowania korzystnych warunków ekonomicznych świadczenia usługi.

Podobny potencjał jest możliwy do zmobilizowania w przypadku zorganizowania lokalnego bilansowania na poziomie systemów dystrybucyjnych.



Rys. 4. Zapotrzebowanie KSE przed i po wdrożeniu usługi DSR

4. PODSUMOWANIE

Usługa DSR może pozwolić odbiorcom energii w czynny, świadomy i pozytywny sposób wpływać na pracę systemu elektroenergetycznego. Świadczenie usługi DSR na rzecz operatora (OSP, OSD) pozwala na zredukowanie zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie szczytowych obciążeń – efektem może być zwiększenie bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego. Z przedstawionych obliczeń wynika, że zredukowanie zapotrzebowania na energię elektryczną przez jeden modelowy dom jednorodzinny pozwala zredukować zapotrzebowanie o ok. 6,5 kWh w ciągu doby.

Należy pamiętać, że w usłudze będzie brać udział większa ilość domów jednorodzinnych. Przyjęto, że w początkowych stadiach wdrażania usługi DSR będzie to 15% domków jednorodzinnych. Wynika stąd potencjał redukcji energii wynoszący ok. 4800 MWh dobowo. System zostaje odciążony w okresach szczytu porannego i wieczornego.

Okresy, w których domownicy będą ograniczać korzystanie z wybranych urządzeń pokrywają się z okresami szybkiego narastania i spadku obciążenia oraz z okresami występowania szczytów zapotrzebowania na moc. Wraz z rozszerzaniem programu DSR

oraz świadczenia usług redukcyjnych większej ilości odbiorców, potencjał zredukowanego zapotrzebowania na energię elektryczną może się zwiększyć, co niewątpliwie poprawi funkcjonowanie oraz bezpieczeństwo krajowego systemu elektroenergetycznego.

W przypadku odbiorców indywidualnych istotne jest, aby odpowiednio zachęcać ich do udziału w usłudze DSR (np. poprzez zastosowanie systemu wynagrodzeń za zredukowanie zapotrzebowania). Istotna jest tu rola pośredników w świadczeniu usługi. W obecnej strukturze funkcjonowania elektroenergetyki najbardziej predysponowane do pełnienia tej roli są firmy obrotu energią elektryczną i operatorzy systemów dystrybucyjnych.

Osobnym problemem jest analiza ekonomiczna opłacalności świadczenia usługi przez rozproszonych odbiorców i sformułowanie atrakcyjnej oferty cenowej.

Zorganizowanie sprawnego i atrakcyjnego dla rozproszonych odbiorców pozyskania usługi DSR jest trudnym wyzwaniem organizacyjnym. Niezbędne do jego rozwiązania jest nie tylko rozwiązanie problemów technicznych, ale także generowanie odpowiednich motywacji i impulsów przez rynek hurtowy.



LITERATURA

- [1] Bronk L., Magulski R.: *Elastyczność krajowego systemu elektroenergetycznego. Diagnoza, potencjał, rozwiązania*. Forum Energii, 2019.
- [2] Bućko P.: *Konkurencja w dostawie regulacyjnych usług systemowych*. Rynek Energii, nr 2, 2008.
- [3] Bućko P.: *Regulacyjne usługi systemowe w zakresie mocy czynnej*. Wydawnictwo PG, Gdańsk 2011.
- [4] Faia R., Faria P., Vale Z., Spinola J.: *Demand response optimization using particle swarm algorithm considering optimum battery energy storage schedule in a residential house*. Energies, vol. 12, 2019.
- [5] Kun-Yuan Huang, Yann-Chang Huang: *Integrating direct load control with interruptible load management to provide instantaneous reserves for ancillary services*. IEEE Transactions on Power Systems, Volume 19, Issue 3, Aug. 2004.
- [6] Lu N., Zhong H.: *Demand Response in Smart Grids*. Springer Nature, Szwajcaria, 2019.
- [7] Matulska-Bachura A. (red.): *Zamieszkanе budynki - Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2013.
- [8] Strona internetowa Polskich Sieci Elektroenergetycznych dotycząca DSR; www.dsr.pse.pl [dostęp 9.03.2020]
- [9] Strona internetowa Polskich Sieci Elektroenergetycznych; www.pse.pl/uslugi-dsr-informacje-ogolne [dostęp 9.03.2020] 11
- [10] Sweetnam T., Fell M.: *Domestic demand-side response with heat pumps: controls and tariffs*. Building Research & Information, vol. 47, Routledge, 2019.
- [11] Tawalbeh N., Abusamaha H. M., Al-Salaymeh A.: *Demand Side Management and its possibilities in Jordan*. Journal of Ecological Engineering, vol. 21, styczeń 2020.
- [12] Qadrdan M., Cheng M.: *Benefits of demand-side response in combined gas and electricity networks*. Applied Energy, vol. 192, 2017.

IMPLEMENTATION OF DSR SERVICES ON THE EXAMPLE OF SINGLE-FAMILY HOUSES

Key words: demand side response, energy market, power system

Summary. The article presents the idea of DSR service (Demand Side Response) by distributed energy consumers. It consists in reducing the demand for electricity or shifting it in time by the demand side. The implementation of the service can significantly affect the operation of the power system - the DSR service can support the balancing of the power system, as well as positively affect its flexibility, efficiency and stability. The article shows the possible impact of reducing the demand for electricity by residents of single-family homes. The expected impact on the system load of the coordinated use of aggregated possibilities of providing DSR services by a larger group of individual recipients in single-family homes was estimated.

Paweł Bućko, dr hab. inż., prof. PG, pracuje w Katedrze Elektroenergetyki Politechniki Gdańskiej. Jego działalność naukowa związana jest z ekonomiką energetyki, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki programowania rozwoju systemów energetycznych w uwarunkowaniach rynkowych. Aktywność zawodowa koncentruje się na analizie inwestycyjnej dla źródeł wytwórczych, analizie mechanizmów rynkowych i zasad rozliczeń w dostawie energii. Jest także audytorem energetycznym i zajmuje się problematyką racjonalnego użytkowania energii. E-mail: pawel.bucko@pg.edu.pl

Wiktorja Stahl, mgr inż., pracuje w Katedrze Elektroenergetyki Politechniki Gdańskiej. Jej aktywność zawodowa koncentruje się na analizie wpływu technologii transportu elektrycznego na obciążenia systemu elektroenergetycznego. Bada techniki oddziaływania na odbiorców w systemach elektroenergetycznych. E-mail: wiktorja.stahl@pg.edu.pl