

Piotr POWROŹNIK, Wiesław MICZULSKI, Robert SZULIM
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki

BADANIA SYMULACYJNE ALGORYTMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ W GOSPODARSTWACH DOMOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych algorytmu elastycznego zarządzania energią (EZE) w grupie 1000 gospodarstw domowych (GD). GD należą do odbiorców energii o dużym potencjale możliwości jej oszczędzania. Otrzymane wyniki wskazują, że opracowany algorytm EZE umożliwia planowanie zachowań odbiorców energii oraz planowanie popytu na energię.

SIMULATION RESEARCH OF THE ENERGY MANAGEMENT ALGORITHM FOR HOUSEHOLDS

The article presents the results of the simulation tests of the flexible energy management algorithm (EZE) in a group of 1000 households (GD). GD belong to energy consumers with a great potential of saving it. The obtained results indicate that the developed EZE algorithm allows planning the behaviour of energy consumers and planning energy demand.

1. WPROWADZENIE

Potrzeba ograniczenia emisji gazów cieplarnianych wymusiła m. in. wprowadzanie w Krajowych Systemach Elektroenergetycznych (KSE) odnawialnych źródeł energii (OZE). Zmienność wytwarzanej mocy przez OZE, a także różnego rodzaju remonty elektrowni konwencjonalnych oraz występowanie dużego zapotrzebowania na moc w określonych godzinach szczytu i porach roku powodują trudności zarządzania mocą w KSE. Wpływa to w istotny sposób na zapewnienie elastyczności i bezpieczeństwa KSE, co wymusza stosowanie odpowiednich działań w zakresie zarządzania i reagowania po stronie popytu (Demand Side Management and Response – DSM&R). Działania DSM&R polegają na identyfikowaniu, ocenie i wykorzystaniu zasobów po stronie popytu na energię elektryczną przez jej końcowych odbiorców. Wyróżnia się dwa podstawowe typy takich działań: efektywne wykorzystanie energii, czyli zmniejszenie zużycia energii oraz kształtowanie krzywej obciążeń poprzez sterowanie obciążeniem, czyli zmniejszenie obciążenia (Demand Response – DR). Pierwsze z działań może obejmować m. in. korzystanie z urządzeń o wysokiej klasie energetycznej i/lub podejmowanie zachowań energooszczędnych poprzez stosowanie bodźców pozacenowych, np. programów informacyjnych i edukacyjnych. Drugi typ działań wymaga współdziałania operatora systemu przesyłowego (OSP) oraz operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) w stosunku do każdej grupy odbiorców energii, w zakresie odpowiednich regulacji w postaci bodźców cenowych, np. właściwie opracowanych taryf i usług przesunięcia obciążenia za okres poza szczytem. Realizacja drugiego typu działania jest możliwa do przeprowadzenia tylko w Smart Grid (SG). W wielu opublikowanych wynikach badań, prowadzonych w różnych krajach, pojawiają się indywidualne podejścia do zastosowania DSM&R na poziomie OSP i OSD [1] oraz gospodarstw domowych (GD), jako odbiorców końcowych [2], mających duży potencjał możliwości oszczędzania energii. Rozwiązania te bazują na algorytmach optymalizacyjnych [3], w grupie których dominują algorytmy heurystyczne.

W artykule przedstawiono opracowany algorytm elastycznego zarządzania energią (EZE) w GD z taryfą wielostrefową oraz wyniki jego badań dla 1000 GD. Do realizacji w EZE zagadnień optymalizacji zużycia energii zastosowano algorytm heurystyczny GRASP [4], który wymaga mniejszej liczby iteracji w celu wykonania optymalizacji doboru nastaw mocy odbiorników w stosunku do innych stosowanych w tym celu algorytmów optymalizacyjnych [3].

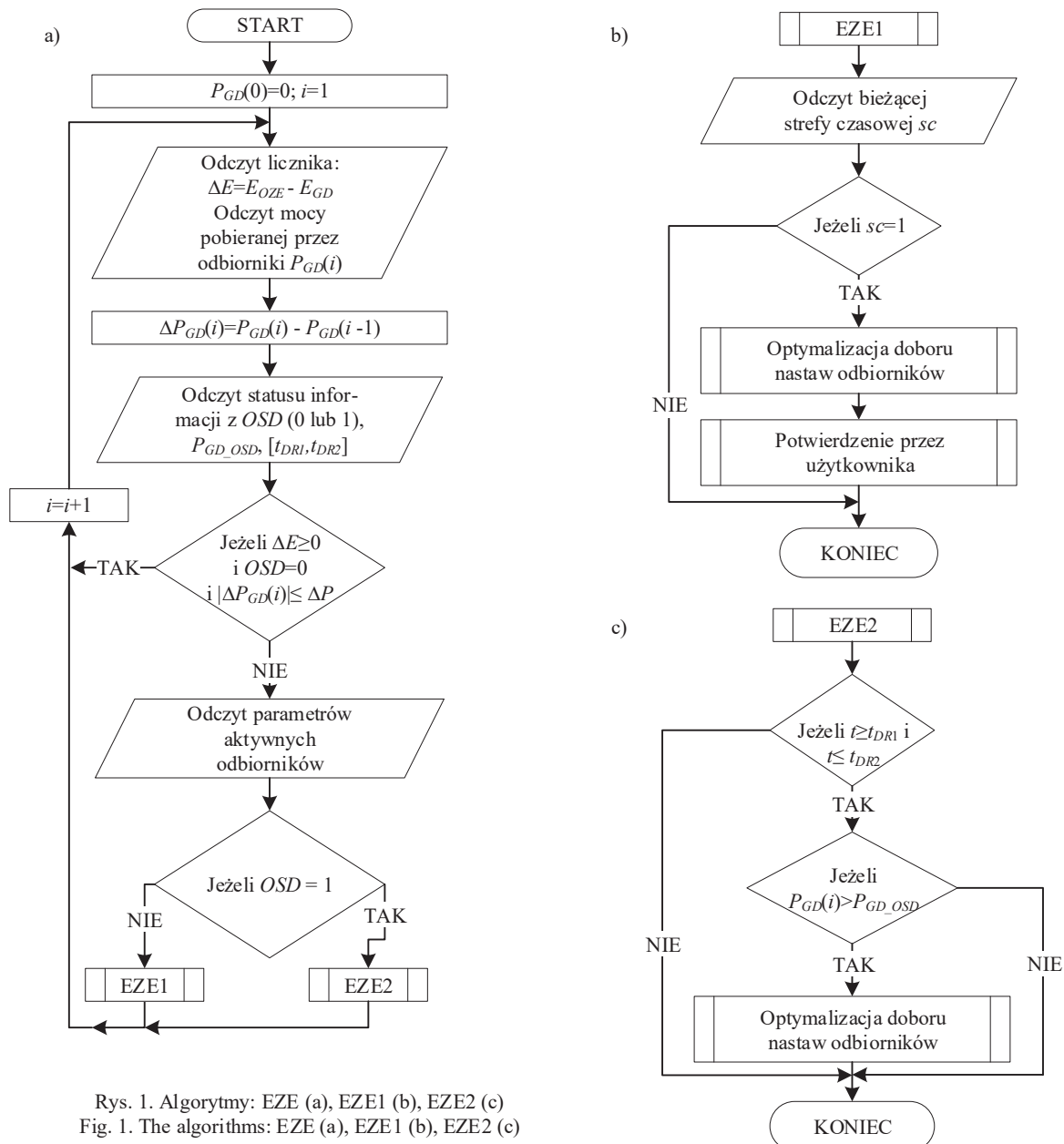
2. ALGORYTM EZE

Koncepcję opracowanego algorytmu EZE przedstawiono na rys. 1a. Celem tego algorytmu jest zapewnienie realizacji działania DR w pojedynczym gospodarstwie domowym, w którym mogą być zainstalowane OZE dysponujące łącznie aktualnie dostępną energią E_{OZE} . Algorytm EZE w sposób ciągły działa w pierwszej pętli, sprawdzając czy:

- w przypadku zastosowania OZE występuje nadprodukcja energii ($\Delta E \geq 0$) w stosunku do energii pobieranej przez wszystkie włączone odbiorniki (E_{GD}),
- nie wystąpiła zmiana całkowitej mocy wszystkich włączonych odbiorników ($\Delta P_{GD}(i)$) o zadaną w algorytmie wartość ΔP zgodnie z zależnością

$$|\Delta P_{GD}(i)| \leq \Delta P, \quad (1)$$

- z OSD nie została przesłana informacja o potrzebie zmniejszenia obciążenia co najmniej do P_{GD_OSD} w żądanym przedziale czasowym (t_{DR1} , t_{DR2}), określonym dla grupy, np. 1000, gospodarstw domowego (wówczas status $OSD = 0$).



Rys. 1. Algorytmy: EZE (a), EZE1 (b), EZE2 (c)
Fig. 1. The algorithms: EZE (a), EZE1 (b), EZE2 (c)

Wprowadzenie do algorytmu EZE (rys. 1a) warunku (1) rozwiązuje problem z nadmiernym wyzwalaniem algorytmu EZE1 (rys. 1b). Bez tego warunku włączenie odbiornika o małej wartości mocy, np. lodówki, mogłoby spowodować modyfikację nastaw mocy dla pozostałych odbiorników.

Jeżeli któryś z powyższych warunków nie jest spełniony, to algorytm EZE przechodzi do działania w drugiej pętli, w której następuje odczytanie parametrów włączonych odbiorników oraz uruchomienie jednego z dwóch algorytmów: EZE1 (rys. 1b) lub EZE2 (rys. 1c). Jeżeli status $OSD = 0$ to uruchamiany jest algorytm EZE1. Jego celem jest zmniejszenie mocy odbiorników w strefach czasowych (sc) o wyższej cenie za energię. W pierwszym kroku działania algorytmu EZE1 (rys. 1b) następuje odczyt aktualnej wartości strefy czasowej (sc) dla taryfy zastosowanej w gospodarstwie domowym. Jeżeli $sc = 1$ (strefa czasowa o najniższej cenie za energię), to następuje zakończenie działania EZE1. Natomiast, gdy $sc > 1$ EZE1 rozpoczyna optymalizację w zakresie redukcji mocy odbiorników. Dla algorytmu EZE1 jako kryterium optymalizacyjne zdefiniowano funkcję celu uwzględniającą koszty energii elektrycznej oraz komfort konsumenta wynikający z parametrów odbiorników zdefiniowanych priorytetem (pr) redukcji ich mocy, czasem (t_s) o jaki może być przesunięte włączenie odbiornika oraz maksymalną sumą mocy (P_{GDmax}) wszystkich włączonych odbiorników w gospodarstwie domowym po procesie redukcji przez EZE1 dla danej strefy czasowej.

Algorytm EZE2 jest uruchamiany, gdy $OSD = 1$. Redukuje on moce odbiorników w żądanym przez OSD przedziale czasowym $t_{DR1} - t_{DR2}$ i do wartości P_{GD_OSD} tak, aby suma mocy wszystkich włączonych odbiorników jej nie przekraczała. Taka funkcjonalność EZE2 wynika z tego, że gospodarstwa domowe nie mają jednoznacznie określonego harmonogramu włączania odbiorników z określonymi ich funkcjami działania. Dla algorytmu EZE2 jako kryterium optymalizacyjne zdefiniowano funkcję celu uwzględniającą koszty energii elektrycznej oraz komfort konsumenta wynikający z parametrów odbiorników: pr i t_s . Optymalizacja jest prowadzona tak, aby jak najbardziej dopasować poziom redukcji mocy odbiorników w GD do zadanego poziomu P_{GD_OSD} . Celem EZE2 jest wspomaganie podejmowanych działań na poziomie OSP i OSD w zakresie redukcji zjawiska szczytowego zapotrzebowania na energię (ang. peak demand), szczególnie w sytuacjach krytycznych dla KSE. Efektywne działanie algorytmu EZE2 wymaga podawania przez OSD dyspozycji wykonania DR z pewnym wyprzedzeniem.

Zdefiniowane funkcje celu dla EZE1 i EZE2 preferują również takie rozwiązania, które będą optymalizować wykorzystanie dostępnej mocy z OZE na potrzeby GD. Do realizacji wszystkich zadań optymalizacyjnych w algorytmach EZE1 i EZE2 zastosowano algorytm GRASP [4].

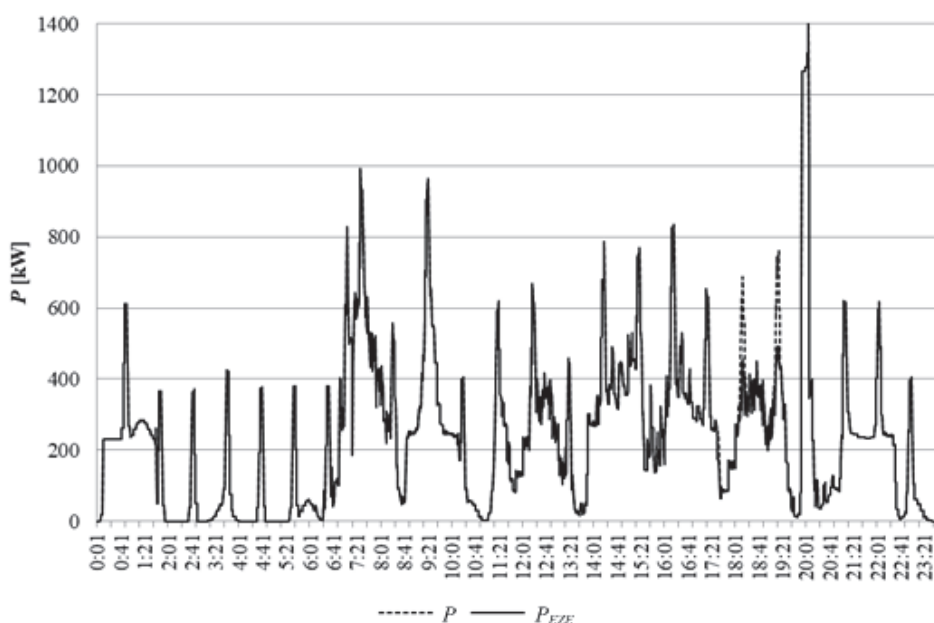
3. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH ALGORYTMU EZE

Badania symulacyjne algorytmu EZE przeprowadzono przy następujących założeniach:

1. Sterowanie odbiornika algorytmem EZE będzie dotyczyło tylko jego włączenia lub wyłączenia. Zostanie to zapewnione przez zastosowanie osobno dla każdego odbiornika inteligentnego gniazdka, dostępnego na rynku, spełniającego założenia np. Wall Plug firmy Fibaro. Gniazdko tego typu umożliwia również udostępnienie algorytmowi EZE wyniku pomiaru aktualnej mocy pobieranej przez odbiornik.
2. Odbiorniki, dla których określono t_s będą mogły być włączone z przesunięciem czasowym.
3. W okresie jednej doby, w pojedynczym GD będzie używanych maksymalnie 10 odbiorników (lodówka, telewizor, suszarka, pralka, zmywarka, klimatyzator, bojler, kuchenka mikrofalowa, płyta indukcyjna i czajnik). Przypisanie poszczególnych odbiorników do danego GD będzie losowane na podstawie procentowego ich występowania w GD, określonego przez GUS.
4. W celu przeprowadzenia symulacji, w każdym z 1000 GD losowano z przyjętym prawdopodobieństwem dla każdego odbiornika czas jego załączenia z założonego przedziału czasowego oraz czas jego pracy.

5. W analizowanych gospodarstwach domowych funkcjonuje program cenowy ToU z 3 strefami czasowymi (sc) i obowiązującymi w nich opłatami za energię.
6. Dla algorytmu EZE1 przyjęto następujące wartości P_{GDmax} : dla $sc = 2$ $P_{GDmax} = 5$ kW, a dla $sc = 3$ $P_{GDmax} = 3$ kW. Dla algorytmu EZE2 przyjęto, że $P_{GD_OSD} = 1$ kW dla dwóch przedziałów czasowych $t_{DR1} - t_{DR2}$: 17:30 – 18:30 oraz 19:00 – 19:15.
7. W gospodarstwach domowych nie ma zainstalowanych OZE.

Wyniki badań symulacyjnych działania algorytmu EZE (rys. 2) prezentują sumaryczne moce pobierane w okresie 1 doby przez 1000 GD, przy stosowaniu i nie stosowaniu algorytmu EZE. Dla rozważanego przypadku algorytm EZE zadziałał w godzinach od 18:02 do 18:31 oraz od 19:01 do 19:16.



Rys. 2. Moce pobierane przez odbiorniki w 1000 GD z działaniem algorytmu EZE (P_{EZE}) i bez EZE (P)
 Fig. 2. Power consumed by appliances in 1000 GD with the operation of the EZE (P_{EZE}) algorithm and without EZE (P)

4. PODSUMOWANIE

Wykonane badania potwierdziły poprawność działania algorytmu EZE. EZE1 optymalizował koszty zużycia energii w strefach czasowych drogiej energii, czyli planował zachowania odbiorców. EZE2 redukował moc w GD, w żądanych przez DSO przedziałach czasowych tak, aby suma mocy wszystkich włączonych odbiorników w każdym GD nie była większa niż 1 kW, czyli planował popyt na energię. Zastosowanie w przyszłości inteligentnych odbiorników umożliwi osiągnięcie jeszcze lepszego rezultatu działania algorytmu EZE pod kątem zapewnienia większego komfortu odbiorcy.

LITERATURA

1. Juan Manuel Alemany, Bartłomiej Arendarski, Pio Lombardi, Przemysław Komarnicki, Accentuating the renewable energy exploitation: Evaluation of flexibility options, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 102, November 2018, pp 131-151.
2. Dongmei Yuan, Zhigang Lu, Jiangfeng Zhang, Xueping Li, A hybrid prediction-based microgrid energy management strategy considering demand-side response and data interruption, *Electrical Power and Energy Systems*, [Volume 113](#), December 2019, pp 139-153.
3. A. Rezaee Jordehi, Optimization of demand response in electric power systems, a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 103, April 2019, pp 308-319.
4. L. Pitsoulis, MGC Resende, Greedy randomized adaptive search procedure. In PM Pardalos, MGC Resende, *Handbook of Applied Optimization*, 2002, pp 168–181, Oxford University Press.