

Raport Badawczy

RB/34/2015

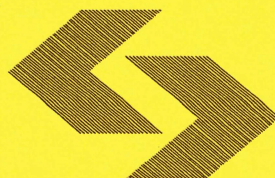
Research Report

**Zarządzanie energią w pracy
wyspowej mikro sieci:
zarządzanie konsumpcją energii
oraz sprawiedliwy podział mocy
produkcyjnych**

W. Radziszewska

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Zakładu zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2015

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Weronika Radziszewska

Zarządzanie energią w pracy wyspowej
mikrosieci: zarządzanie konsumpcją
energii oraz sprawiedliwy podział mocy
produkcyjnych.

WARSZAWA 2015

Spis treści

1	Wstęp	1
2	Mikrosieci energetyczne	3
3	Bilansowanie mocy	7
4	Praca wyspowa mikrosieci	9
4.1	Nadprodukcja energii elektrycznej	10
4.1.1	Nadprodukcja: Magazyny energii elektrycznej	11
4.1.2	Nadprodukcja: Zmniejszenie produkcji	12
4.1.3	Nadprodukcja: Marnowanie energii	12
4.2	Zbyt duży popyt	13
4.2.1	Zbyt duży popyt: Planowanie zużycia	13
4.2.2	Zbyt duży popyt: Zmniejszanie zużycia	14
4.2.3	Zbyt duży popyt: Przesuwanie zużycia w czasie	14
5	Zarządzanie pracą sieci w trybie wyspowym	17
5.1	Planowanie długoterminowe	17
5.2	Bilansowanie krótkoterminowe	18
6	Podsumowanie	21

Rozdział 1

Wstęp

Praca wyspowa mikrosieci - bez podłączenia do sieci dystrybucyjnej - jest zagadnieniem złożonym, gdyż ze względu na właściwości sieci elektrycznych wymaga idealnego bilansowania energii produkowanej i zużywanej. W części przypadków nie będzie możliwe zbilansowanie ze względu na chwilowe deficyty lub nadmiary energii elektrycznej, wtedy należy wymusić pożądane zachowania urządzeń, np. przeprowadzić planowane włączenia i wyłączenia poszczególnych urządzeń w mikrosieci. Pojawia się tu szereg problemów: produkcja energii ze źródeł odnawialnych jest tylko do pewnego stopnia przewidywalna, zużycie energii przez konsumentów jest szybko zmienne w czasie, a niektóre urządzenia są bardzo wrażliwe na chwilową zmianę parametrów prądu. Zarządzanie energią w tym przypadku można podzielić na dwa zagadnienia: zarządzanie produkcją i zarządzanie konsumpcją energii.

Zarządzanie produkcją wymaga ciągłego monitorowania możliwości wytwórczych źródeł, określania możliwości regulacyjnych i poziomu naładowania zasobników energii (o ile takie zasobniki są dostępne). Zarządzanie produkcją to problem decyzyjny: które źródło sterowalne, w jakim zakresie i czasie ma pokrywać zapotrzebowanie mikrosieci. W przypadku nadpodaży energii w pierwszej kolejności musi być zmniejszony punkt pracy źródeł, a w dalszej kolejności nadmiar energii musi być zmarnowany. W przypadku braku energii, musi zostać ograniczona konsumpcja.

Zarządzanie konsumpcją wymaga zamodelowania urządzeń i ustalenia priorytetów i mechanizmów ich wyłączania i włączania. Problem nie ogranicza się tylko do określenia ile mocy zużywa poszczególne urządzenie, ale musi także być wzięte pod uwagę okres włączania i wyłączania urządzenia (np. bezpieczne wyłączenie komputera może trwać nawet kilka minut).

Jeżeli rozważane są mikrosieci z wieloma właścicielami (podmiotami sterującymi) zagadnienie to obejmuje także problem sprawiedliwego ponoszenia kosztów przez producentów w mikrosieci w celu zbilansowania popytu i podaży. Koszt jest tu rozumiany zarówno dosłownie – jako koszt paliwa do źródeł energii oraz koszt w postaci niemożliwości w użytkowaniu sprzętu, gdy występuje deficyt energii.

W kolejnym rozdziale zostanie przedstawiona koncepcja mikrosieci. Rozdział 3 opisany zostanie problem bilansowania mocy. W kolejnym rozdziale zostaną opisane problemy występujące przy pracy mikrosieci w trybie wyspowym jak nadprodukcja energii elektrycznej i zbyt duży popyt. Rozdział 5 rozważa możliwości systemów informatycznych do bilansowania energii w mikrosieci w trybie wyspowym. Ostatni rozdział podsumowuje niniejszą pracę.

Rozdział 5

Zarządzanie pracą sieci w trybie wyspowym

Przedstawione w poprzednim rozdziale sposoby radzenia sobie z niemożliwością zbilansowania mikrosieci powinny być wykorzystane nie wyłącznie a razem. W przypadku nadprodukcji energii elektrycznej w pierwszej kolejności należy naładować zasobniki energii elektrycznej, zmniejszyć punkt pracy źródeł (lub je wyłączyć), a w ostateczności energię zmarnować. W przypadku niedoboru energii elektrycznej pierwszym elementem będzie pobranie energii z baterii, zwiększenie punktu pracy źródeł, a jeżeli to jeszcze nie pozwoli na zbilansowanie należy obniżyć punkt pracy odbiorów lub część z nich wyłączyć.

Zarządzanie energią w trybie wyspowym musi być zaplanowane na wielu płaszczyznach z uwzględnieniem charakterystyki mikrosieci. System zarządzania energią w mikrosieci powinien brać pod uwagę zarówno planowanie długoterminowe, jak i bilansowanie krótkoterminowe.

5.1 Planowanie długoterminowe

Planowanie długoterminowe przy rozważaniu pracy wyspowej jest niezwykle istotne, dużo bardziej niż w przypadku dostępności zewnętrznej sieci dystrybucyjnej. Planowanie może dotyczyć dwóch zagadnień: planowania zużycia energii elektrycznej oraz planowania produkcji energii elektrycznej.

Planowanie zużycia energii umożliwia przesunięcie wielkości zużycia w taki sposób, aby nie kumulować ilości zużywanego prądu oraz, aby ener-

gia była zużywana, gdy jest produkowana. Również planowanie powinno uwzględniać priorytety węzłów: musi być zapewnione chociaż minimalne zasilanie dla węzłów rezerwowych, a w dalszej kolejności dla węzłów o wyższych priorytetach. W mikrosieci posiadającej zdolność do pracy wyspowej występują źródła, z których chociaż jedno powinno być na tyle pewne, aby być źródłem informacji o fazie w mikrosieci. Maksymalny punkt pracy tego źródła określa minimalną dostępną energię w sieci, z kolei maksymalna ilość energii zależy od szeregu czynników. Źródła energii odnawialnej zależą od czynników atmosferycznych i może się zdarzyć, że nie będą produkować, lub będą produkować tylko część swojej mocy znamionowej. Z kolei produkowana przez nie energia może być bardzo zmienna w czasie. Jest to wyzwanie dla systemów planowania. Zwykle upraszcza się zagadnienie uśredniając oczekiwaną wielkość produkcji ze źródeł odnawialnych. Jednakże przy takim podejściu należy zostawiać miejsce na margines błędu i krótkotrwałą zmienność wielkości produkcji. Algorytmy planowania są różnorodne, może być użyta metoda obliczająca dokładny plan, jednakże często używa się algorytmów heurystycznych, w przypadku dużej liczby odbiorów. Takie algorytmy są opisane w pracach: [9, 1].

Planowanie produkcji energii elektrycznej oznacza harmonogramowanie punktów pracy poszczególnych urządzeń sterowalnych i zarządzanie cyklem ładowania/rozładowania baterii. Sterowalne źródła energii elektrycznej wymagają (w znacznej większości) dostarczenia paliwa, którego zużycie jest kosztem. Dlatego należy unikać nieuzasadnionych włączeń źródeł oraz zbytniego podnoszenia ich punktu pracy. Przy planowaniu produkcji bardzo istotnym elementem jest decyzja kiedy źródło sterowalne jest włączone, a kiedy zostaje wyłączone. Jest to skomplikowany proces decyzyjny, gdyż należy unikać zbyt częstych uruchomień i wyłączeń tego typu urządzeń. Wyłączenie i włączenie urządzenia trwa oraz wymaga pewnej ilości paliwa, które nie zostanie, z dużą wydajnością, przekształcone w energię elektryczną. Dlatego też włączenia/wyłączenia muszą być zaplanowane z wyprzedzeniem, aby uzyskać pewność, że będą dostępne, gdy będzie potrzeba dużo energii, a będą wyłączone, gdy nie będzie na nią popytu.

5.2 Bilansowanie krótkoterminowe

Planowanie zużycia i produkcji energii elektrycznej w mikrosieci, nie zawsze może uwzględnić krótkoterminową zmienność ilości energii produkowanej ze

źródeł odnawialnych oraz niepewność zużycia prądu przez ludzi i urządzenia. Dlatego potrzebny jest system krótkoterminowego bilansowania, który będzie uwzględniał plan długoterminowy, ale też na bieżąco będzie reagował na krótkotrwałe odchylenia. System krótkoterminowego bilansowania energii ma za zadanie w każdym momencie zrównywać popyt i podaż energii w mikrosieci. Taki system został zaprezentowany w [11, 14]. Opisany system bazuje na zawieraniu kontraktów, gdzie kryteriami wyboru są uogólnione koszty. Są one tak zdefiniowane, aby zasobniki i źródła odnawialne były preferowane. Użycie kosztów rzeczywistych doprowadziłoby do niepożądanych sytuacji, gdyż koszty zakupu, instalacji oraz utrzymania źródeł odnawialnych są relatywnie wysokie. Dlatego zdecydowano się na użycie zamiast kosztu wartości określającej preferencje właściciela mikrosieci, w której bierze się pod uwagę koszty paliwa oraz ekologiczność źródła.

System bilansowania krótkoterminowego opisany w pracach [11, 14] jest systemem wieloagentowym, oznacza to, że system składa się z szeregu współpracujących ze sobą agentów programowych. W tej pracy agent jest rozumiany jako autonomiczny system komputerowy, realizujący jakiś cel, który jest osadzony w pewnym środowisku (definicja na podstawie [22]). W opisywanym systemie jest kilka rodzajów agentów, które reprezentują różne obiekty. System wieloagentowy składa się z dwóch części: pierwszy symuluje mikrosieć i środowisko (*MicroGrid Environmental Interface*), drugi realizuje proces bilansowania energii (*MicroGridBalancer*). Środowiskiem dla agenta w tym przypadku jest mikrosieć i inne agenty, a dokładnie modele urządzeń w węzłach sieci.

Węzeł sieci jest reprezentowany przez dwa, współpracujące ze sobą, agenty: Modelera i Negocjatora. Mogą one być „pasywne” lub „aktywne”, zależnie od tego czy węzeł zawiera urządzenie sterowalne czy niesterowalne. Rozróżnienie na aktywnego Modelera i pasywnego Modelera zostało wprowadzone, aby zmniejszyć ilość przesyłanych komunikatów w systemie agentowym oraz uprościć proces negocjacji. Agenty pasywne reprezentują urządzenia sterowalne, czyli źródła energii nieodnawialnej oraz baterię. Określenie „pasywny” wskazuje, że te agenty nie wykrywają u siebie niezbilansowań, gdyż mają one pełną kontrolę nad punktem pracy swojego węzła. Agenty pasywne czekają na zgłoszenie agentów aktywnych. Agenty aktywne proaktywnie poszukują urządzenia mogącego zmienić swój punkt pracy i je zbilansować.

Modeler Pasywny odbiera informacje o stanie węzła, zna możliwości regulacyjne węzła oraz jego koszt. Pasywny Negocjator odpowiada za wysyłanie ofert bilansujących, kiedy otrzyma zapytanie od Aktywnego Negocjatora. W

przypadku zawarcia transakcji Negocjator informuje Modelera o konieczności zmiany punktu pracy.

Aktywny Modeler sprawdza punkt pracy swojego węzła, i w przypadku wykrycia zmiany sprawdza, czy prowadzi ona do niezbilansowania węzła. Jeżeli tak, to wysyła odpowiednie dane do Aktywnego Negocjatora, który rozpoczyna proces bilansowania. Negocjator rozesła informację o potrzebie pokrycia niezbilansowania i wybiera najlepszą z nadesłanych ofert.

Baterijny zasobnik energii jest reprezentowany w systemie przez dwa zestawy agentów: jeden Pasywny (Modeler i Negocjator), który odpowiada na prośby o bilansowanie, oraz Aktywny (Modeler i Negocjator), który nie dopuszcza do zbytowego naładowania lub rozładowania baterii.

Słup ogłoszeniowy (*Morris Column*) jest agentem niezwiązanym z żadnym węzłem. Ma on za zadanie zbierać informacje o możliwościach regulacyjnych agentów pasywnych i przekazywać agentom aktywnym informacje o agentach pasywnych.

Monitor jest agentem, który nie bierze bezpośrednio udziału w bilansowaniu, ale zbiera informacje o stanie całego systemu i zawiera funkcje przygotowujące dane do prezentacji.

Opisane rozwiązanie pokazało podczas testów, że bilansuje prawidłowo i radzi sobie w sytuacji pracy wyspowej mikrosieci. Zaprezentowany system nie uwzględnia wyłączeń/włączeń urządzeń w przypadku sytuacji sieci, w której nie może nastąpić zbilansowanie.

Istniejący system powinien zostać rozszerzony tak, aby w przypadku niemożliwości zbilansowania mógł sterować włączaniem/wyłączaniem części urządzeń i przekazywać informację do systemu planowania do korekty planu. Będą to przypadki, w których nastąpiły znaczne odstępstwa od zaplanowanych wartości produkcji i konsumpcji energii elektrycznej i taki plan należy skorygować.

Wprowadzenie zarządzania włączeniami wyłączeniami odbiorów może się odbywać poprzez rozszerzenie aktywnych modelerów o funkcje podania priorytetu wyłączania/włączania urządzeń. Oznacza to, że to węzły odbiorowe będą informowały system, w którym momencie mogą być bezpiecznie wyłączone, albo informację o możliwej redukcji punktu pracy. Może się to odbywać przy użyciu sterowalnych urządzeń lub poprzez odłączenie zasilania od części urządzeń podłączonych do węzła.

Rozdział 6

Podsumowanie

Tematyka sieci inteligentnych („*smart grid*”) jest bardzo szeroka i jest bardzo popularnym tematem badań, co skutkuje jej bardzo dynamicznym rozwojem. W tej pracy ograniczono się do pewnego podzbioru tematyki, czyli do badań nad zarządzaniem energią w mikrosieci w trybie pracy wyspowej.

Mikrosieć jest bardzo szeroko rozważanym zagadnieniem, jednak stosunkowo niewiele naukowców rozważa pracę mikrosieci w trybie wyspowym. Jest to zagadnienie bardzo skomplikowane w przypadku niewystarczająco elastycznych źródeł mocy w mikrosieci. Ogólne i niezawodne rozwiązanie wymaga planowania, zarówno zużycia energii elektrycznej, jak i produkcji (punktów pracy źródeł sterowalnych), oraz dodatkowego mechanizmu bilansującego krótkoterminowe odchylenia od planu.

W tej pracy opisano podstawowe problemy występujące w pracy wyspowej mikrosieci. Jest to kontynuacja badań nad zarządzaniem energią w mikrosieci i praca ta stanowi wstęp do zaimplementowania systemu zarządzania energią w mikrosieci w trybie pracy wyspowej.

Pokazano możliwe rozwiązania problemu nadprodukcji energii elektrycznej i deficytu energii elektrycznej. Do prawidłowego i efektywnego rozwiązania problemu bilansowania powinny być użyte wszystkie podane mechanizmy, zarówno ograniczające lub przesuwające popyt, jak i zarządzające podażą.

Kontynuacją pracy będzie zaimplementowanie mechanizmów zarządzania urządzeniami w celu osiągnięcia zbilansowania mikrosieci w ekstremalnych warunkach.

Bibliografia

- [1] A. Agnetis, G. Dellino, P. Detti, G. Innocenti, G. de Pascale, and A. Vicino. Appliance operation scheduling for electricity consumption optimization. In *CDC-ECE*, pages 5899–5904. IEEE, 2011.
- [2] V.S.K.M. Balijepalli, V. Pradhan, S.A. Khaparde, and R. M. Shereef. Review of demand response under smart grid paradigm. In *Innovative Smart Grid Technologies - India (ISGT India), 2011 IEEE PES*, pages 236–243, Dec 2011.
- [3] Bornholm Island. <https://building-microgrid.lbl.gov/bornholm-island>.
- [4] R. G. Harley and J. Lian. Computational intelligence in smart grids. *IEEE Computational Intelligence Applications in Smart Grid*, pages 8–15, 2011.
- [5] N.D. Hatziaargyriou, H. Asano, R. Iravani, and Ch. Marnay. Microgrids: An overview of ongoing research, development, and demonstration projects. *IEEE Power & Energy Magazine*, 5(4):78–94, 08/2007 2007.
- [6] International Energy Agency. More data, less energy: Making network standby more efficient in billions of connected devices. Technical report, International Energy Agency, 2014.
- [7] F. M. R. Islam. *Impact and Utilization of Emerging PHEV in Smart Power Systems*. PhD thesis, School of Engineering and Information Technology, The University of New South Wales, Canberra, Australia, 2013.
- [8] Kythnos Island. <https://building-microgrid.lbl.gov/kythnos-island>.

- [9] Junghoon Lee, Gyung-Leen Park, Sang-Wook Kim, Hye-Jin Kim, and Chang Oan Sung. Power consumption scheduling for peak load reduction in smart grid homes. In *Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing, SAC '11*, pages 584–588, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [10] D. Linden and T. Reddy. *Handbook Of Batteries*. McGraw-Hill handbooks. McGraw-Hill Education, 2001.
- [11] P. Palka, W. Radziszewska, and Z. Z. Nahorski. Balancing electric power in a microgrid via programmable agents auctions. *Control and Cybernetics*, 4(41):777–797, 2012.
- [12] R. Palma-Behnke, C. Benavides, E. Aranda, J. Llanos, and D. Saez. Energy management system for a renewable based microgrid with a demand side management mechanism. In *Computational Intelligence Applications In Smart Grid (CIASG), 2011 IEEE Symposium on*, pages 1–8. IEEE, 2011.
- [13] M. Parol, J. Wasilewski, T. Wójtowicz, and Z. Nahorski. Low voltage microgrid in a research and educational center. In *CD Proceedings of the Conference Elektroenergetika ELEN 2012*, page 15, September 2012.
- [14] W. Radziszewska, Z. Nahorski, M. Parol, and P. Palka. Intelligent computations in an agent-based prosumer-type electric microgrid control system. In L. T. Kóczy, C. R. Pozna, and J. Kacprzyk, editors, *Issues and Challenges of Intelligent Systems and Computational Intelligence*, volume 530 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 293–312. Springer, 2014.
- [15] Tecnalia Microgrid Laboratory. <https://building-microgrid.lbl.gov/tecnalia-microgrid-laboratory>.
- [16] Tesla Motors. Powerwall. <http://www.teslamotors.com/powerwall>.
- [17] A. G. Tsikalakis and N. D. Hatziargyriou. Centralized control for optimizing microgrids operation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(1):241–248, 2008.
- [18] P. Vytelingum, T. D. Voice, S. D. Ramchurn, Alex Rogers, and N. R. Jennings. Agent-based micro-storage management for the smart grid. In

Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Volume 1, AAMAS '10, pages 39–46, Richland, SC, 2010. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

- [19] Perukrishnen Vytelingum, Sarvapali D. Ramchurn, Thomas D. Voice, Alex Rogers, and Nicholas R. Jennings. Trading agents for the smart electricity grid. In *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 1 - Volume 1*, AAMAS '10, pages 897–904, Richland, SC, 2010. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- [20] J. Wasilewski, M. Parol, T. Wojtowicz, and Z. Nahorski. A microgrid structure supplying a research and education centre - Polish case. In *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on*, pages 1–8, 2012.
- [21] D. Westermann and A. John. Demand matching wind power generation with wide-area measurement and demand-side management. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 22(1):145–149, 2007.
- [22] M. Wooldridge. *Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2001.

