

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 2

Mikrosieci energetyczne

Pojęcie „*smart grid*” ma szeroki charakter i może odnosić się do wielu typów sieci elektroenergetycznych, począwszy od sieci domowych do dużych sieci przesyłowych. Najczęściej ten termin wyraża połączenie koncepcji sieci elektroenergetycznej i telekomunikacyjnej z dwukierunkowymi przepływami energii i danych. Przepływ informacji pozwala na monitorowanie krytycznych parametrów i wysyłanie sygnałów sterujących, które regulują przepływ energii. Ta infrastruktura umożliwia sterowanie z poziomu systemu komputerowego, zastosowanie inteligentnych algorytmów analizy danych i podejmowania decyzji. Inteligentne zarządzanie, sterowanie i bezpieczeństwo elektroenergetyczne są cechami „*smart grids*”. Działania te są bardzo często wykonywane z użyciem algorytmów obliczeń inteligentnych: sieci neuronowych, systemów logiki rozmytej, obliczeń ewolucyjnych, i ich pochodnych. W pracy [4] wymieniono obszary, w których były proponowane zastosowania obliczeń inteligentnych: inteligentne czujniki, monitorowanie i identyfikacja, wspomaganie zarządzania systemami (prognozowanie, harmonogramowanie pracy źródeł zasilania, ocena odporności na zakłócenia), sterowanie systemami (lokalne inteligentne sterowanie, tłumienie oscylacji i sterowanie przepływami mocy w dużych sieciach), bezpieczeństwo zasilania systemów (inteligentne przekładniki, inteligentne wyłączniki, inteligentna lokalizacja uszkodzeń).

Popularyzacja niewielkich źródeł energii odnawialnej jest jednym z czynników powstania dużej liczby małych producentów lub prosumentów. Jest to jeden z czynników, który wymusił pracę nad bardziej zaawansowanymi algorytmami zarządzania i sterowania w sieciach. Sieci z wieloma elementami aktywnymi, w tym odnawialnymi źródłami i zasobnikami energii, często są oznaczane skrótem HES (ang. *Hybrid Energy Systems*). Typowe źródła

podłączone do HES to: turbina wiatrowa, panel fotowoltaiczny, silnikowy zespół prądowłórczy, turbozespół gazowy (biogazowy), czy mikroturbina gazowa. Oprócz tego HES zawierają zasobniki energii, jak superkondensatory, koła zamachowe, baterie akumulatorów, czy ogniwa paliwowe. Elementy te są podłączone do sieci za pomocą przetworników energoelektronicznych DC/AC, AC/DC, a także DC/DC. Przetworniki te są na ogół sterowalne i pozwalają na regulację wybranych parametrów energii elektrycznej.

Pojęcie mikrosieci jest często rozumiane intuicyjnie. Mikrosieć obejmuje wydzieloną sieć, zazwyczaj niskiego napięcia, która może być podłączona do sieci dystrybucyjnej o wyższym napięciu (SN) lub pracować w trybie wyspowym, będąc okresowo oddzielona od sieci dystrybucyjnej. Mikrosieci mają własne źródła zasilania (mikroźródła), często są to źródła odnawialne. Ze względu na stosunkowo małą liczbę elementów (źródeł i odbiorników) występujących w mikrosieciach, zarówno obciążenia jak i generacja energii (ze źródeł odnawialnych) wykazują dużą zmienność o charakterze losowym. Utrzymanie ciągłości zasilania w takich sieciach z reguły wymaga zastosowania zaawansowanych systemów zarządzania energią. Systemy te zawierają często podsystemy sterowania nastawione na optymalizację: kosztów operacyjnych (działania) sieci, rozliczeń z operatorem sieci dystrybucyjnej, niezawodności dostawy energii, albo też, jako element większej sieci, wyrównywania jej obciążeń: zmniejszania poboru lub dostarczania energii w czasie szczytów obciążeń, z ewentualnym zwiększonym poborem w czasie niskich obciążeń [12, 17].

Poszczególne elementy mikrosieci można zaklasyfikować do jednej z następujących grup:

- Sterowalne źródła energii: są to takie źródła, w których możemy sterować punktem pracy w przedziale dopuszczalnych technologicznie warunków pracy, na przykład mikroturbiny gazowe lub silnikowy zespół prądowłórczy.
- Niesterowalne źródła energii: są to takie źródła, w których sterowanie punktem pracy przez system informatyczny nie jest możliwe, ich punkt pracy zależy od warunków narzuconych w danym momencie przez środowisko. Są one często trudne do przewidzenia z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym. Urządzeniami należącymi do tej kategorii są na przykład mikroturbiny wiatrowe, czy systemy paneli fotowoltaicznych.

- Zasobniki energii: są to urządzenia pozwalające na magazynowanie energii, w celu jej późniejszego wykorzystania, na przykład baterie akumulatorów lub koła zamachowe. Zasobnik jest elementem, który może zarówno oddawać energię, jak i ją pobierać, z uwzględnieniem ograniczeń na pojemność zasobnika.
- Odbiorniki energii: są to wszystkie urządzenia elektryczne, do działania których jest potrzebna energia elektryczna pobierana z sieci elektrycznej. Mogą to być urządzenia pozwalające na sterowanie, w pewnym zakresie, ich pracą, na przykład grzejniki elektryczne, lodówki. Ogólnie są jednak uznawane za urządzenia niesterowalne.

W mikrosieciach wyróżnia się dwie kategorie węzłów: węzły rezerwowane oraz węzły rezerwowanych warunkowo [20]. Węzły rezerwowane warunkowo to węzły których zasilanie będzie możliwe jedynie w przypadku odpowiedniej rezerwy mocy w mikrosieci. Takimi węzłami są na przykład gniazdka prądowe ogólnego przeznaczenia. Węzły (odbiorcy) rezerwowane są to węzły, które ze względów na prawidłowe działanie samej sieci i bezpieczeństwa powinny zawsze mieć zasilanie. Takimi węzłami są na przykład elementy instalacji przeciwpożarowej, oświetlenie dróg ewakuacji czy zasilanie wymagane do rozruchu źródeł energii elektrycznej.

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.



