

Idea of MGrid System for Multicarrier Energy MicroGrid Designing and Control

Authors

Dariusz Baczyński
 Piotr Helt
 Marek Maniecki
 Jacek Wasilewski

Keywords

microgrids, optimisation, designing

Abstract

The idea of the MGrid system for multicarrier energy microgrid designing and control is presented in the article. The first part of the work contains reasons for undertaking the problem of complex optimisation of utilising various energy forms on the operation area of a typical microgrid. The planned system functionality and architecture is also presented. Conclusions concerning expected advantages as a consequence of using the proposed system are discussed.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014402

1. Introduction

The power sector's development is derived from a number of factors relating to the development of technologies themselves, as well as the development of societies in terms of economy and of social and environmental awareness. The original model of the connection between a local electricity generator and consumers in the neighbourhood turned into extensive power grids connecting multiple generators and consumers in large areas. The grids have grown, covering entire countries and later continents. The current microgrid paradigm somehow recalls the concept of electricity generation close to consumers connected to the local grid [1, 2, 3, 4]. There are three areas of benefits from this approach. The first area represents benefits for customers connected to the microgrid, and microgrid owners:

- reduced electricity use costs
- increased power supply reliability
- utilisation of available primary energy carriers.

The second area represents benefits for distribution grid and transmission operators:

- reduced electricity transmission losses and postponed capital expenditures for generation, transmission, and distribution subsystems
- improved stability of the power system as a whole
- availability of ancillary services provided by microgrids.

Finally, the third area concerns the whole of society:

- increased energy security through partial diversification of fuels, and reduced dependence on a single fuel

- increased capital expenditures for generation subsystem, and hence reduced unemployment, the more units are manufactured in the country, the greater the effect
- reduced harmful emissions into the environment (especially in the case of renewable energy sources), improved utilisation of primary energy carriers.

Doubts are often raised about the economic rationale for development of distributed electricity sources, renewable energy sources in particular. It is obvious that electricity generation in large conventional sources is much cheaper (and more convenient) than in small, often complex, expensive and unpredictable renewable sources. Apart from the depletion of countries' major energy resources, the question arises of which direction the economy should follow as a whole. Will the technological development contribute to the formation of large groups excluded from the labour market? Which resource will be the most in demand in the coming decades? Shouldn't we start manufacturing appliances that utilise even small energy resources at the local level, rather than extract minerals and use them as fuel? Will another collapse of the financial markets revive trading in real commodities, rather than virtual ones?

These questions cast doubt on the simple economic calculation, which answers only one question: which is cheaper? In thinking of the energy sector development, economic aspects should be considered along with social and environmental decision factors. The microgrid concept is not a remedy for all socio-economic problems that may arise in the future, but these authors believe that its implementation may to some extent contribute to sustainable development.

2. Multi-carrier microgrid

2.1. Idea

The main economic advantage of microgrid development, including connecting local energy sources to the grids, is higher efficiency of the use of primary resources (including fuels), also owing to cogeneration, and source deployment close to loads [5, 6]. Just the issue of concurrent cost optimisation of all energy carriers available in a grid should provide significant synergies. Energy supply system should therefore be considered as a multi-carrier system, i.e. taking into account distribution of electricity, heat and cool (EHC energy). Hence, the following multi-carrier multigrad definition may be offered: a kind of local energy distribution system, which includes loads, sources and reservoirs of various different energy forms.

2.2. Requirements

Most research studies and commercial solutions focus primarily on the aspect of a microgrid's electrical operation. Despite taking into account subsystems associated with other energy carriers, the issue of production and consumption of various media across the microgrid has not been comprehensively analysed. This is particularly evident at the microgrid design stage, when the main attention is focused on one major carrier, while the form of the other subsystems is derived from and subordinated to the major medium. Such an approach is applied despite the lack of valid, objective reasons for preferring a specific energy carrier.

A balanced multi-carrier microgrid meets the following general requirements:

- to meet the demand for various energy carriers, when the microgrid is connected with energy systems
- to meet the assumed demand for individual energy carriers, when the microgrid is not connected to energy systems, i.e. operates in islanding
- to implement a specific objective function, for example the minimum total cost of its use K_{tot} in its predetermined lifetime (1)

$$K_{tot} = \sum_{i=1}^n K_{inw,i} + \sum_{i=1}^n K_{zmi,i} + \sum_{i=1}^n K_{zaw,i} - \sum_{i=1}^n D_{sp,i} - \sum_{i=1}^n D_{us,i} \quad (1)$$

where:

$K_{inw,i}$ – fixed costs of energy sources and storage, and grid infrastructure of the carrier "i", $K_{zmi,i}$ – variable costs of energy sources and storage, and grid infrastructure of the carrier "i", $K_{zaw,i}$ – costs of the unreliability of energy sources and storage, and grid infrastructure of the carrier "i", $D_{sp,i}$ – revenues from sale of energy of the carrier "i" (including bonuses for energy generation from RES renewable sources), $D_{us,i}$ – income from the provision of ancillary services to the "i" carrier grid operator.

The objective function represented by formula (1) refers generally to the microgrid design stage. However, the later adopted objective function relating to the grid operation, i.e. the optimisation

of its functioning, should be based on the same assumptions, and adopt similar forms of the criterion functions relating to various aspects of its operation. Adoption of other qualitative criteria during operation may cause the designed microgrid structure to be sub-optimal.

When meeting the said postulate it is crucial to maintain a stable situation of the energy sector per se. Unless no fixed prices of fuels can be assured, the countries that care for the development of microgrids should pay attention to stabilisation of their energy policies. A clear example may be the terms and conditions of bonuses for RES energy generation.

Another element that may affect the spread of microgrids is a change in the terms and conditions of small players' participation in the energy market. Particularly important may be more dynamic electricity tariffs, and solving the issue of energy price information transfer by trade companies to distribution or transmission grid operators [7]. In this way the issue of ancillary services provision by microgrids can be solved. Perhaps a greater saturation with renewable energy sources, which fear transmission system operators, will force the development of local energy markets [8], on which microgrids will adopt the stabilising function.

3. IT system idea

3.1. Supported processes

The requirements for a microgrid lead to the conclusion that the IT system should support:

- multi-carrier microgrid design with optimisation of an adopted criterion function
- multi-carrier microgrid control with optimisation of an adopted criterion function.

3.2. Assumed functionality

The IT system should take into account the following information:

- details of energy facilities, including mapping of energy grids
- technical and economic profiles of energy sources, energy storage and controllable loads
- data from measuring devices (energy consumption, switches states, etc.)
- additional information: weather conditions, production processes, repairs.

This information will be used by:

- methods of simulation, analysis, and optimisation for the purpose of microgrid design process
- methods of short- and ultra-short output forecasting in small EHC energy sources using weather information, process data, and other parameters
- methods of optimal planning of energy storage operation, and scheduling of demand for electricity, heat and cooling of selected consumers, such as technological loads
- methods of microgrid's ongoing optimal control, in normal operation with connections with the power system, and in island operation alike.

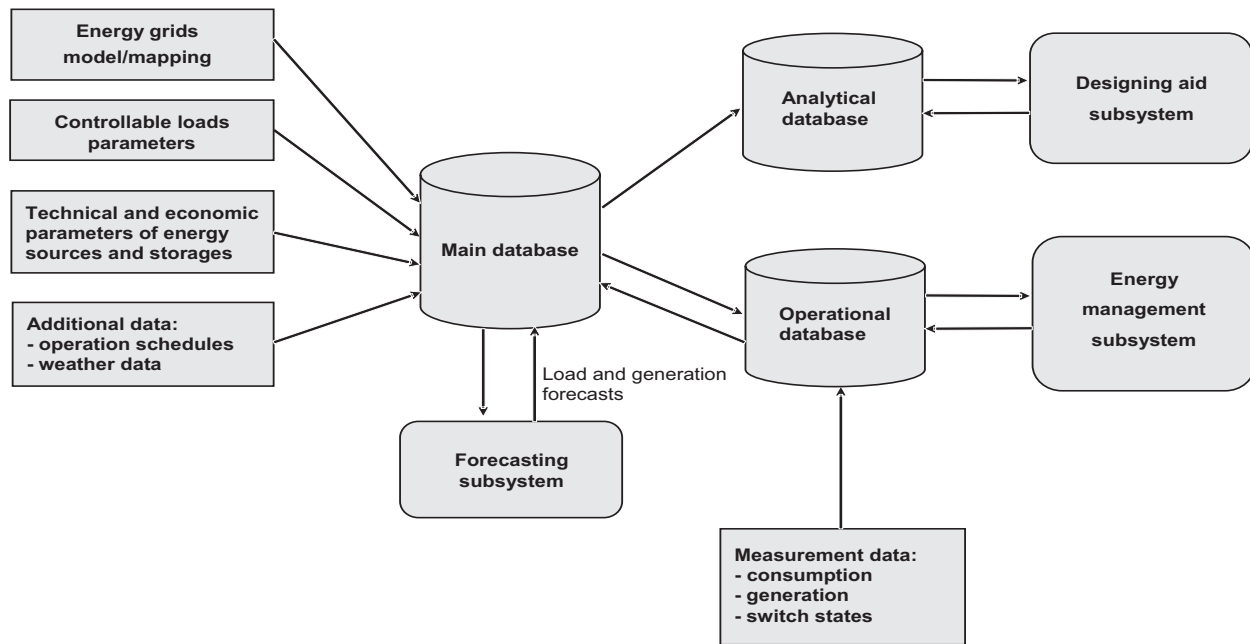


Fig. 1. Concept of IT system architecture

3.3. System architecture

Due to its assumed functionality, the system should consist of two main (in some way separable) subsystems: microgrid designing aid and power management in a microgrid.

Additionally, due to the need for a large number of forecasts, it is proposed to introduce a third ancillary subsystem – a prognostic subsystem (Fig. 1).

The subsystems' separability is governed by their different intended uses. The microgrid designing aid subsystem is used to perform analyses and optimisation, in which the most crucial is the microgrid structure optimisation effect decisive for the microgrid investment's economic outcome, while the time of calculation duration is less crucial. This means that the subsystem should have a high offline performance. In addition, it should allow for variant analysis and simulation with the option of recording alternative solutions.

The microgrid power management subsystem should feature high online type performance, especially as regards tasks related to microgrid ongoing control and isolated operation. For the same reasons, the system's database should have a dual structure, suitable for the envisaged tasks. And so, as regards the designing aid subsystem, it should be a database of an analytical type with data warehouse elements. In terms of the power management subsystem, its main database should be operational, and data for analyses (e.g. records of generation, demand, etc.) should come from the main database of the system.

4. Elements of MGrid system

4.1. Microgrid designing aid subsystem

The microgrid designing aid subsystem is designed as a set of simulation, analytical and optimisation tools. This set should allow one not only to design a new microgrid, but also to study

a number of its development options. The process of designing development options of an existing microgrid should also enable taking into account collected measurement data. The subsystem's following modules are provided for:

- grid simulation module (grid modelling using graphical tools, flow calculations, simulation of grid operation over time)
- measurement data analysis module
- optimisation module.

4.2. Microgrid power management subsystem

It is assumed that the microgrid will be a set of electricity, heat, and cool generation elements and an energy distribution infrastructure. Since the elements of this set will belong to a single entity, it is proposed to use a central mechanism for allocation of the energy generation in microsources, and the demand for groups of consumers, and the microgrid's distribution subsystem. Therefore MGrid will act as an arbitrator with the mandate to optimise the overall economic performance associated with the demand for, and generation of, energy. These goals can be achieved only with complete observation of the microgrid, as well as unlimited capabilities to solve complex decision problems. MGrid will have to ensure optimal operation of the microgrid in ultrashort -, short- and medium-term time horizons alike.

The following power management subsystem modules are provided for the MGrid system:

- module of micro-sources, energy storages and loads operations scheduling and control
- module of microgrid isolated operation management.

In addition, a module is contemplated for supporting the microgrid's participation in the energy market and ancillary services in virtual power plants (aggregators).

MGrid will be interoperable with specific real-time communication standards, such as Ethernet Powerlink. A very short data transfer duration will be required to ensure the MGrid application's immediate response to the microgrid components's current operating conditions. The optimal set of communication standards will be a result of research efforts.

Local micro-source and energy storage controllers will have to include appropriate inputs and outputs (both digital and analogue), necessary for local control of inverters and fuel valves. As local load controllers actuators and control devices (e.g. room temperature) will be used as parts of BMS *Building Management Systems*. Also envisaged is control of switches in electrical switchboards, to ensure the necessary power dump in selected circuits. An example of the MGrid power management subsystem is shown in Fig. 2.

A. Module of micro-sources, energy storages, and loads operations scheduling and control

According to the assumptions, MGrid will provide – under given circumstances – the optimal operation plans for controllable and schedulable loads, and controllable electricity, heat, and cool storages and sources. They will be optimised based on a selected objective function, such as minimum total variable costs of obtaining power, or profit from electricity sales, depending on the current energy balance in the microgrid [7, 9, 10, 11], a set of constraints of a technical nature, and of state variables adopted on the basis of previous forecasts and blocked event declarations. The optimisation result will be used to determine set points for adaptive or predictive systems of energy sources, storages, and loads control.

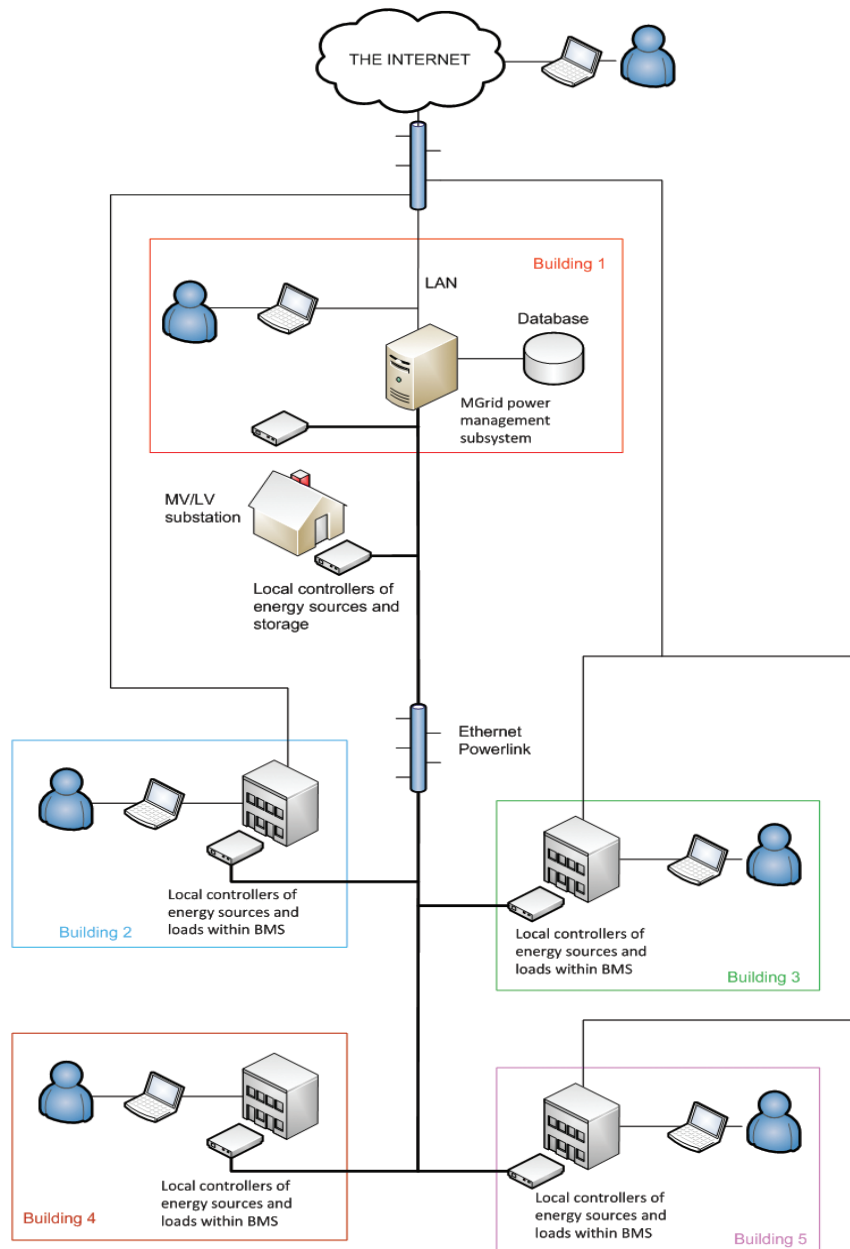


Fig. 2. Physical structure concept of MGrid power management subsystem

B. Module of microgrid isolated operation management

The purpose of this module is current balancing of power in a microgrid, which is disconnected from the power, heat, and/or gas distribution grid and operates in part or in whole (no access to external energy carriers except for local resources) in islanding mode. This type of operation will require a completely different way of microgrid optimisation. As it is known, some loads must be powered with the highest (guaranteed) continuity of supply (e.g. emergency lighting, fire pumps and fans, and assurance of certain production processes' continuity) [12]. Other loads will be powered conditionally, if the local energy resources in the specific time horizon allow for it. Demand can be managed in a "soft" way, for example by lowering temperature or light intensity controller settings, as well as hard way, for example by providing a shut-down signal to lighting, heating, or air conditioning actuators, or to the tripping coil of a disconnecter at the inflow of a selected electrical load section.

In the island operation, MGrid will still allow for the microgrid operation that is optimal under given circumstances, but the role of costs resulting from the loss of undelivered energy in the criterion function will be more significant. In the absence of relevant cost data, operation priorities of the respective consumer groups may be determined in advance.

C. Energy trading module

The possibility of competitive trading in energy and ancillary services is the basic premise of the paradigm of a micro – energy grid as part of the Smart Grid concept [13, 4]. It is contemplated to develop in the MGrid system a module enabling support for hourly scheduling of electricity and heat sales and purchases, and forwarding such schedules to the respective contract parties, as well as to companies responsible for trade balancing (for electricity). The person responsible for energy trading on the market will be assisted by microgrid operation plans developed by MGrid based on medium- and short-term forecasts of energy demand and generation.

The Smart Grid concept assumes that microgrids may be controllable sources/loads, which are elements of a virtual power plant, acting as an aggregator of ancillary services. Microgrids, subject to technical requirements for the available generation capacities and appropriate control systems, will be able to provide through aggregators ancillary services for grid operators (TSOs and DSOs), such as:

- operational or intervention power reserve
- participation in the primary control
- participation in the secondary control
- participation in the automatic voltage and reactive power control
- generation enforced by grid considerations.

In the future, when real-time energy markets develop, a module supporting microgrid participation in the energy and ancillary services market will be required to make quick and optimal decisions. In such a case, implementation of an advanced agent system in the MGrid system is expected. The task of such an automatic agent will be concluding contracts in local energy markets through smart strategies, market game, and negotiations with

the contractual parties in order to strive to meet the adopted goals. An interesting proposal is to establish an open multi-agent platform acting on local energy markets. To achieve this objective, an appropriate standard, such as M3 [14], must be applied to communication between agents.

4.3. Forecasting subsystem

Typical (natural) demand for electricity, heat and cooling, and local energy generation should be forecast according to optimised energy generation, purchase, and consumption plans:

- several weeks in advance, at a daily time interval (medium term forecasting)
- two days in advance, at an hourly time interval (short-term forecasting)
- a few hours in advance, at a few minutes time interval (ultra short-term forecasting).

To this end MGrid will use predictive techniques of different kinds, based on statistical regression, time series models, econometric models, and artificial intelligence techniques, such as artificial neural network and fuzzy logic. The process of energy demand forecasting will be supported by inventory and declared operating programs of selected energy consumers. In turn, in the process of energy generation forecasting for local RES sources numerical weather forecasts and measurements from local meteo stations will have to be utilised.

The energy demand for selected events, such as those related to industrial processes, participation in events, conferences, and use of hotel rooms, will be reported (declared) by the personnel of relevant entities. Any such notice can be either:

- locked – at a fixed event date
- unlocked – a preferred event date will be suggested by the MGrid system.

5. Final conclusions

Implementation of the assumed MGrid system concept should enable a comprehensive solution supporting various kinds of operation of a microgrid. From the proposed solution not only will microgrid owners benefit but also grid operators and, indirectly, society as a whole.

The "MGrid" project implemented by Globema sp. z o.o. in cooperation with the Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology, is co-funded by the European Union under the Operational Programme Innovative Economy, Measure 1.4.

REFERENCES

1. Biczal P., Wytwarzanie energii w mikro sieciach [Energy generation in microgrids], *Automatyka – Elektryka – Zakłócenia* 2011, issue 4.
2. Olszowiec P., Autonomiczne systemy elektroenergetyczne małej mocy. Mikro sieci [Autonomous low power systems. Microgrids], *Energia Gigawat* 2009, issues 7–8.
3. Hatziargyriou N.D. et al., Microgrids, *IEEE Power & Energy Magazine* 2007, Vol. 5, No. 4, pp. 78–94.
4. Lasseter R. et al., White Paper on Integration of Distributed Energy

- Resources. The CERTS MicroGrid Concept, Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS), CA, Tech. Rep. LBNL-50829, Apr. 2002.
5. Kueck J.D. et al., Microgrid Energy Management System, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, January 29, 2003.
 6. Hatzigiorgiou N., Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids, Executive Summary Report Final Results, 2009.
 7. Parol M., Wymiana energii elektrycznej między mikrosiecią a siecią spółki dystrybucyjnej [*Electricity exchange between a microgrid and a distribution company's grid*], *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)* 2010, issue 8.
 8. Baczyński D., Koncepcja obliczeń technicznych i ekonomicznych dla potrzeb lokalnych rynków energii [*Concept of technical and economic calculations for local energy markets*], *Rynek Energii* 2008, issue 4, pp. 17–24.
 9. Książek K., Parol M., Steady states analysis of microgrid operation, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)* 2008, Vol. 84, issue 11, pp. 14–19.
 10. Katiraei F., Iravani R., Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units, *IEEE Transactions on Power Systems* 2006, Vol. 21, No. 4, pp. 1821–1831.
 11. Oyarzabal J. et al., Agent based Micro Grid Management System. CD Proceedings of the Int. Conf. on Future Power Systems FPS 2005, November 16–18, 2005, Amsterdam, p. 6.
 12. Parol M., Baczyński D., Automatyka zabezpieczeniowa oraz resynchronizacja mikrosieci [Automatic protections and resynchronization of microgrids], VI Scientific and Technical Conference “Power grids in industry and the energy sector – Grids 2008”, Szklarska Poręba, 10–12 September 2008, pp. 19–26.
 13. Hatzigiorgiou N.D. i in, Management of microgrids in market environment, presented at the International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, Netherlands, 2005, available on the website: ieeexplore.ieee.org.
 14. Kacprzak P.H. et. al., Multi-commodity Market Data Mode, Technical report, available at: <http://www.openm3.org>.

Dariusz Baczyński

Warsaw University of Technology

e-mail: dariusz.baczynski@ien.pw.edu.pl

A graduate of Warsaw University of Technology. An assistant professor in the Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology. He deals with issues of distribution grids, forecasting, optimisation, artificial intelligence methods, and application of IT systems in the power engineering.

Piotr Helt

Warsaw University of Technology

e-mail: piotr.helt@ien.pw.edu.pl

A graduate of Warsaw University of Technology. Since 2009 with his alma mater, where he directs postgraduate studies “Modern Methods of Analysis in Power Engineering”. A Smart Grid consultant at Globema sp. z o.o. Area of professional interest: geographical information systems, in particular its applications in power engineering, power grids and systems, especially distribution grids, artificial intelligence methods and their application in optimisation problems.

Author of numerous articles and publications on national and international conferences. He has completed numerous research projects, grants and expert opinions, primarily in power engineering.

Marek Maniecki

Globema sp. z o.o.

e-mail: marek.maniecki@globema.pl

A graduate of Warsaw University of Technology. Since 1999 vice chairman of the board of Globema sp. z o.o. An honorary member of the Polish Information Processing Society, member of the Polish Chamber of Information Technology and Telecommunications, chairman of the Chamber's Energy Committee. Professional interests: issues of IT project management, design and development of information systems, in particular geographical information systems (GIS), as well as IT systems for smart grids.

Jacek Wasilewski

Warsaw University of Technology

e-mail: jacek.wasilewski@ien.pw.edu.pl

A graduate of Warsaw University of Technology (2005). An assistant professor in the Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology. His research interests are focused on the present and future distribution network structures (“smart” type concepts) and, above all, their system analyses (optimal planning and control of operations).

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 20–25. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Koncepcja systemu MGrid do wspomagania, projektowania i sterowania pracą wielonośnikowych mikrosieci energetycznych

Autorzy

Dariusz Baczyński
Piotr Helt
Marek Maniecki
Jacek Wasilewski

Słowa kluczowe

mikrosieci, optymalizacja, projektowanie

Streszczenie

Autorzy przedstawili w artykule koncepcję systemu MGrid, wspomagającego projektowanie i sterowanie pracą wielonośnikowych mikrosieci energetycznych. Pierwsza część artykułu zawiera uzasadnienie podjęcia problemu kompleksowej optymalizacji wykorzystania energii w jej różnych postaciach – nośnikach, w odniesieniu do obszaru działania typowej mikrosieci. Omówiono planowaną funkcjonalność systemu oraz jego architekturę. Zaprezentowano również spodziewane korzyści, wynikające ze stosowania opracowywanego systemu.

1. Wstęp

Rozwój elektroenergetyki jest pochodną wielu czynników dotyczących tak rozwoju samych technologii, jak i rozwoju społeczeństw w sensie ekonomicznym, świadomości społecznej oraz ekologicznej. Pierwotny model połączenia pomiędzy lokalnym wytwórcą energii elektrycznej a odbiorcami w jego sąsiedztwie zmienił się w wielkie sieci elektroenergetyczne, łączące wielu wytwórców i odbiorców na dużych terenach. Sieci rozrastały się, obejmując całe kraje, a później kontynenty. Obecny paradygmat mikrosieci w pewien sposób wraca do idei wytwarzania energii elektrycznej blisko odbiorcy przyłączonego do lokalnej sieci [1, 2, 3, 4]. Korzyści płynące z tego typu podejścia można podzielić na trzy sfery. Pierwsza sfera to korzyści, które odnoszą odbiorcy przyłączeni do mikrosieci i jej właściciele:

- zmniejszenie kosztów związanych z użytkowaniem energii elektrycznej
- zwiększenie niezawodności zasilania
- wykorzystanie posiadanych pierwotnych nośników energii.

Druga sfera korzyści obejmuje operatorów sieci dystrybucyjnych i przesyłowych:

- zmniejszenie strat energii związanych z przesyłem
- odłożenie w czasie inwestycji w podsystem wytwórczy, przesyłowy i dystrybucyjny
- poprawa stabilności systemu elektroenergetycznego jako całości
- możliwość świadczenia usług systemowych przez mikrosieci.

Ostatnia, trzecia sfera dotyczy całego społeczeństwa:

- zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez częściową dywersyfikację surowców energetycznych i uniezależnienie się od jednego surowca energetycznego
- zwiększenie inwestycji w podsystem wytwórczy, a co za tym idzie zmniejszenie bezrobocia, efekt tym większy, im więcej urządzeń jest produkowanych w kraju
- zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do środowiska (szczególnie

w przypadku odnawialnych źródeł energii)

- lepsze wykorzystanie pierwotnych nośników energii.

Często podnoszone są wątpliwości dotyczące ekonomicznego uzasadnienia budowania źródeł rozproszonych energii elektrycznej, a w szczególności źródeł odnawialnych. Jest oczywiste, że produkcja energii elektrycznej w dużych źródłach konwencjonalnych jest znacznie tańsza (i wygodniejsza) niż produkcja w małych, często skomplikowanych, drogich i nieprzewidywalnych źródłach odnawialnych. Abstrahując od wyczerpywania się głównych zasobów energetycznych państw, rodzi się pytanie, w jakim kierunku powinna zmierzać gospodarka jako całość. Czy rozwój technologiczny nie przyczyni się do powstania dużej grupy wykluczonych z rynku pracy? Co będzie najbardziej pożądanym zasobem nadchodzących dekad? Czy zamiast eksploatować kopaliny i wykorzystywać je jako paliwo, nie zacząć produkować urządzeń wykorzystujących nawet małe zasoby energetyczne w skali lokalnej? Czy kolejne załamania na rynkach finansowych nie spowodują powrotu do obrotu realnymi towarami, a nie wirtualnym dobrem?

Postawione pytania poddają w wątpliwość prosty rachunek ekonomiczny – dający odpowiedź tylko na pytanie: co jest tańsze? Myśląc o rozwoju energetyki, trzeba rozważać zarówno aspekty ekonomiczne, jak i aspekty społeczne oraz ekologiczne podejmowanych decyzji.

Idea mikrosieci nie jest remedium na wszelkie problemy społeczno-ekonomiczne, które mogą się pojawić w przyszłości, ale autorzy artykułu uważają, że jej wdrażanie może w pewnym zakresie przyczynić się do zrównoważonego rozwoju.

2. Mikrosieć wielonośnikowa

2.1. Idea

Zasadniczą korzyścią ekonomiczną tworzenia mikrosieci, w tym przyłączenia do sieci lokalnych źródeł energii, jest wyższa efektywność wykorzystania zasobów pierwotnych (w tym paliw), także dzięki

zastosowaniu kogeneracji i umiejscowieniu źródła w pobliżu odbiorów [5, 6]. Właśnie kwestia jednoczesnej optymalizacji kosztów wszystkich dostępnych nośników energii w danej sieci powinna dać znaczący efekt synergii. System zaopatrzenia w energię powinien być zatem rozpatrywany jako system wielonośnikowy, tj. uwzględniający dystrybucję energii elektrycznej, ciepła oraz chłodu (energia ECC). Stąd też można zaproponować następujące określenie mikrosieci wielonośnikowej: to rodzaj systemu lokalnej dystrybucji energii, który skupia odbiory, źródła i zasobniki różnych postaci energii.

2.2. Wymagania

Większość prac badawczych i rozwiązań komercyjnych skupia się głównie na aspekcie elektrycznej pracy mikrosieci. Mimo brania pod uwagę podsystemów związanych z innymi mediami energetycznymi, nie analizuje się kompleksowo problemu produkcji i zużycia różnych nośników w skali całej mikrosieci. Szczególnie widoczne jest to na etapie projektowania mikrosieci, na którym główną uwagę skupia się na jednym, głównym nośniku, gdy postać pozostałych podsystemów jest pochodną podporządkowaną głównemu nośnikowi. Takie podejście jest stosowane mimo braku ważnych, obiektywnych powodów preferujących określony nośnik energii. Zrównoważona mikrosieć wielonośnikowa powinna spełniać następujące ogólne wymagania:

- zaspokajać zapotrzebowanie na poszczególne nośniki energii, gdy mikrosieć jest połączona z systemami energetycznymi
- zaspokajać założone zapotrzebowanie na poszczególne nośniki energii, gdy mikrosieć nie jest połączona z systemami energetycznymi, czyli pracuje w trybie wyspowym
- realizować określoną funkcję celu, przykład: minimalizować całkowity koszt jej użytkowania K_{tot} w pewnym założonym okresie eksploatacji (1)

$$K_{tot} = \sum_{i=1}^n K_{imw,i} + \sum_{i=1}^n K_{zmi,i} + \sum_{i=1}^n K_{zaw,i} - \sum_{i=1}^n D_{sp,i} - \sum_{i=1}^n D_{us,i} \quad (1)$$

gdzie:

$K_{imw,i}$ – koszty stałe związane ze źródłami i magazynami energii oraz infrastrukturą sieciową i -tego nośnika,

$K_{zmi,i}$ – koszty zmienne związane z pracą źródeł i magazynów energii oraz infrastruktury sieciowej i -tego nośnika,

$K_{zaw,i}$ – koszty zawodności źródeł i magazynów energii oraz infrastruktury sieciowej i -tego nośnika,

$D_{sp,i}$ – dochody ze sprzedaży energii i -tego nośnika (w tym premie za produkcję energii z odnawialnych źródeł energii, OZE),

$D_{us,i}$ – dochody ze świadczenia usług systemowych operatorowi sieci i -tego nośnika.

Funkcja celu przedstawiona zależnością (1) odnosi się zasadniczo do etapu projektowania mikro sieci. Jednak później przyjęta funkcja celu odnosząca się do pracy sieci – czyli optymalizacji jej działania – powinna wychodzić z tych samych założeń oraz przyjmować podobne postaci funkcji kryterialnych, dotyczących poszczególnych aspektów jej działania. Przyjęcie innych kryteriów jakościowych w trakcie eksploatacji może spowodować, że zaprojektowana struktura mikro sieci będzie nieoptymalna.

Przy wypełnianiu wspomnianego postulatu kluczowe jest utrzymywanie się stabilnej sytuacji energetyki jako takiej. O ile nie można zapewnić stałych cen na surowce energetyczne, to państwa, którym zależy na rozwijaniu mikro sieci, powinny dbać o stabilizację polityki dotyczącej energetyki. Za wyraźny przykład można tu podać warunki premiowania odnawialnych źródeł energii.

Kolejnym elementem, który może wpłynąć na upowszechnienie mikro sieci, jest zmiana warunków uczestnictwa drobnych podmiotów w rynku energii. Szczególnie istotne może być zdynamizowanie taryf za energię elektryczną i rozwiązywanie kwestii przekazywania podmiotom przez przedsiębiorstwa obrotu, operatorów sieci dystrybucyjnych bądź przesyłowych informacji o cenie energii [7]. W ten sposób będzie można rozwiązać kwestie świadczenia usług systemowych przez mikro sieci. Być może większe nasycenie odnawialnymi źródłami energii, którego obawiają się operatorzy systemów przesyłowych, wymusi powstanie lokalnych rynków energii [8], na których to mikro sieci będą przyjmowały funkcję stabilizującą.

3. Idea systemu informatycznego

3.1. Wspomagane procesy

Wymagania dotyczące mikro sieci prowadzą do konkluzji, że system informatyczny powinien wspomagać:

- projektowanie wielonośnikowej mikro sieci z optymalizacją założonej funkcji kryterialnej
- sterowanie wielonośnikowej mikro sieci z optymalizacją założonej funkcji kryterialnej.

3.2. Zakładana funkcjonalność

System informatyczny powinien uwzględniać następujące informacje:

- dane o obiektach energetycznych, w tym odwzorowanie sieci energetycznych
 - charakterystyki techniczno-ekonomiczne źródeł energii, zasobników energii i odbiorników sterowalnych
 - dane z urządzeń pomiarowych (zużycia energii, stany łączników itp.)
 - dane dodatkowe: warunki pogodowe, procesy technologiczne, remonty.
- Informacje te będą wykorzystywane przez:
- metody symulacji, analizy i optymalizacji na potrzeby procesu projektowania mikro sieci
 - metody krótko- i ultrakrótkoterminowego prognozowania produkcji w małych źródłach energii ECC z wykorzystaniem informacji pogodowych, danych technologicznych i innych parametrów
 - metody optymalnego planowania pracy zasobników energii oraz harmonogramowanie zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło oraz chłód wybranych odbiorców, np. technologicznych
 - metody bieżącego sterowania optymalnego mikro siecią zarówno w normalnej pracy przy powiązaniu z systemem elektroenergetycznym, jak i przy pracy wyspowej.

3.3. Architektura systemu

Ze względu na założoną funkcjonalność system powinien posiadać dwa główne (w pewien sposób rozłączne) podsystemy:

- podsystem wspomaganie projektowania mikro sieci
- podsystem zarządzania energią w mikro sieci.

Dodatkowo, ze względu na potrzebę tworzenia dużej ilości prognoz, proponuje się wprowadzenie trzeciego podsystemu o charakterze wspomagającym – podsystemu prognostycznego (rys. 1).

O rozłączności podsystemów decyduje ich różne przeznaczenie. Podsystem wspomaganie projektowania mikro sieci służy do wykonywania analiz i optymalizacji, w których najbardziej kluczowy jest efekt optymalizacji struktury mikro sieci, decydujący o wyniku ekonomicznym inwestycji w mikro sieć, natomiast mniej kluczowy jest czas obliczeń. Oznacza to, że podsystem ten powinien charakteryzować się dużą wydajnością *offline*. Dodatkowo powinien on pozwalać na wykonywanie wariantowych

analiz i symulacji z możliwością zapisu alternatywnych rozwiązań.

Natomiast podsystem zarządzania energią w mikro sieci powinien wykazywać się dużą wydajnością typu *online*, szczególnie w przypadku zadań dotyczących bieżącego sterowania oraz działania mikro sieci w trybie wyspowym.

Z tych samych przyczyn baza danych systemu powinna mieć dwoistą konstrukcję, przystosowaną do przewidywanych zadań. I tak w przypadku podsystemu wspomaganie projektowania powinna to być baza danych o charakterze analitycznym z elementami hurtowni danych. Natomiast w przypadku podsystemu zarządzania energią główna baza danych powinna mieć charakter operacyjny, a dane do analiz (np. zapisy produkcji, zapotrzebowania itp.) powinny pochodzić z bazy głównej systemu.

4. Elementy systemu MGrid

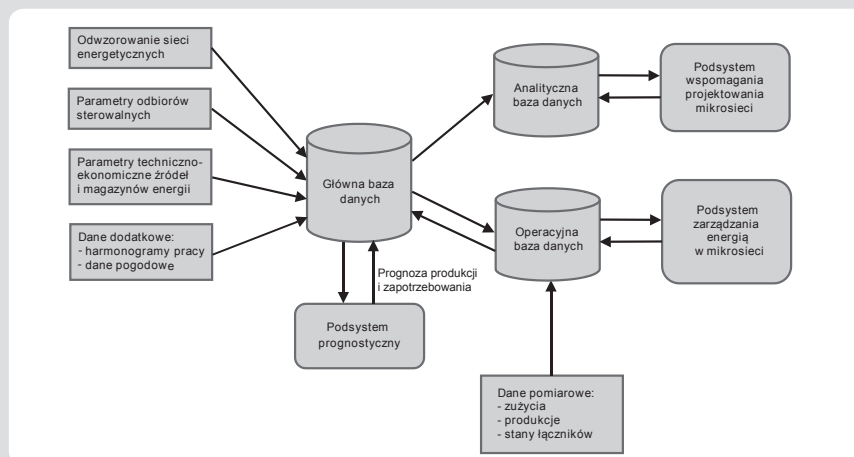
4.1. Podsystem wspomaganie projektowania mikro sieci

Podsystem wspomaganie projektowania mikro sieci to w założeniu zestaw narzędzi symulacyjnych, analitycznych i optymalizacyjnych. Zbiór ten powinien pozwalać nie tylko na zaprojektowanie nowej mikro sieci, ale też na badanie wielu wariantów jej rozwoju. Przy tworzeniu wariantów rozwoju istniejącej mikro sieci możliwe powinno być także uwzględnienie zebranych informacji pomiarowych. W podsystemie tym przewiduje się następujące moduły:

- moduł symulacji sieci (modelowanie sieci za pomocą narzędzi graficznych, obliczenia rozpyłkowe, symulacja działania sieci w czasie)
- moduł analiz danych pomiarowych
- moduł optymalizacji.

4.2. Podsystem zarządzania energią w mikro sieci

Zakłada się, że mikro sieć będzie zbiorem elementów wytwórczych energii elektrycznej, ciepła i chłodu oraz infrastruktury do dystrybucji energii. Ponieważ elementy tego zbioru będą należeć do jednego podmiotu, proponuje się zastosowanie centralnego mechanizmu alokacji produkcji energii w mikro źródłach oraz zapotrzebowania dla grup odbiorców oraz stanu pracy podsystemu dystrybucyjnego mikro sieci. Zatem MGrid będzie pełnił funkcję arbitra,



Rys. 1. Konceptcja architektury systemu informatycznego

którego zadaniem będzie optymalizacja całościowych efektów ekonomicznych, związanych z zapotrzebowaniem i wytwarzaniem energii. Postawione cele mogą być osiągnięte tylko przy pełnej obserwacji mikrosieci, jak również nielimitowanych możliwości rozwiązywania złożonych problemów decyzyjnych. MGrid będzie musiał zapewniać optymalną pracę mikrosieci zarówno w ultrakrótko-, krótko-, jak i w średnioterminowym horyzoncie czasowym.

W systemie MGrid przewiduje się następujące moduły podsystemu zarządzania energią:

- moduł harmonogramowania i sterowania pracą mikroźródeł, zasobników energii oraz odbiorów
- moduł zarządzania pracą mikrosieci w trybie wyspowym.

Dodatkowo rozważa się także moduł wspomagający udział mikrosieci w rynku energii i usługach systemowych w elektrowniach wirtualnych (agregatorów).

MGrid będzie współpracować z określonymi standardami komunikacyjnymi czasu rzeczywistego, np. Ethernet Powerlink. Wymagany będzie bardzo krótki czas transmisji danych, zapewniający natychmiastową reakcję aplikacji MGrid na bieżące warunki pracy elementów mikrosieci. Optymalny zbiór standardów komunikacji będzie wynikiem prowadzonych prac badawczych.

Lokalne sterowniki mikroźródeł i zasobników energii będą musiały zawierać odpowiedniej jakości wyjścia (zarówno cyfrowe, jak i analogowe), niezbędne do miejscowego sterowania inwerterami oraz zaworami paliwa. Jako lokalne sterowniki odbiorów będą wykorzystywane akty (elementy wykonawcze) oraz urządzenia regulujące (np. temperaturę w pomieszczeniach) w ramach systemów BMS (ang. *Building Management Systems*). Przewiduje się także sterowanie łącznikami w rozdzielnicach elektrycznych, zapewniające niezbędny zrzut mocy w wybranych obwodach. Przykładową strukturę podsystemu zarządzania energią MGrid przedstawiono na rys. 2.

A. Moduł harmonogramowania i sterowania pracą mikroźródeł, zasobników energii oraz odbiorów

W założeniach MGrid będzie układał optymalny w danych warunkach plan pracy sterowalnych i harmonogramowalnych odbiorów oraz sterowalnych zasobników i źródeł energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Optymalizacja będzie realizowana na podstawie wybranej funkcji celu, np. minimalizacja całkowitych kosztów zmiennej pozyskania energii lub zysku ze sprzedaży energii, w zależności od aktualnego bilansu energii w mikrosieci [7, 9, 10, 11], zbioru warunków ograniczających o charakterze technicznym oraz wartości zmiennych stanu przyjmowanych na podstawie wykonywanych uprzednio prognoz oraz deklaracji zdarzeń zablokowanych.

Wynik optymalizacji będzie wykorzystywany do określania wartości zadanych dla nadążnych lub predykcyjnych układów regulacji pracy źródeł i zasobników energii oraz jej odbiorników.

B. Moduł zarządzania pracą mikrosieci w trybie wyspowym

Celem tego modułu będzie bieżące bilansowanie mocy w mikrosieci, która

została odłączona od elektroenergetycznej, ciepłej i/lub gazowej sieci dystrybucyjnej i pracuje częściowo lub w całości (nie ma dostępu do zewnętrznych nośników energii za wyjątkiem lokalnych zasobów) w trybie wyspowym.

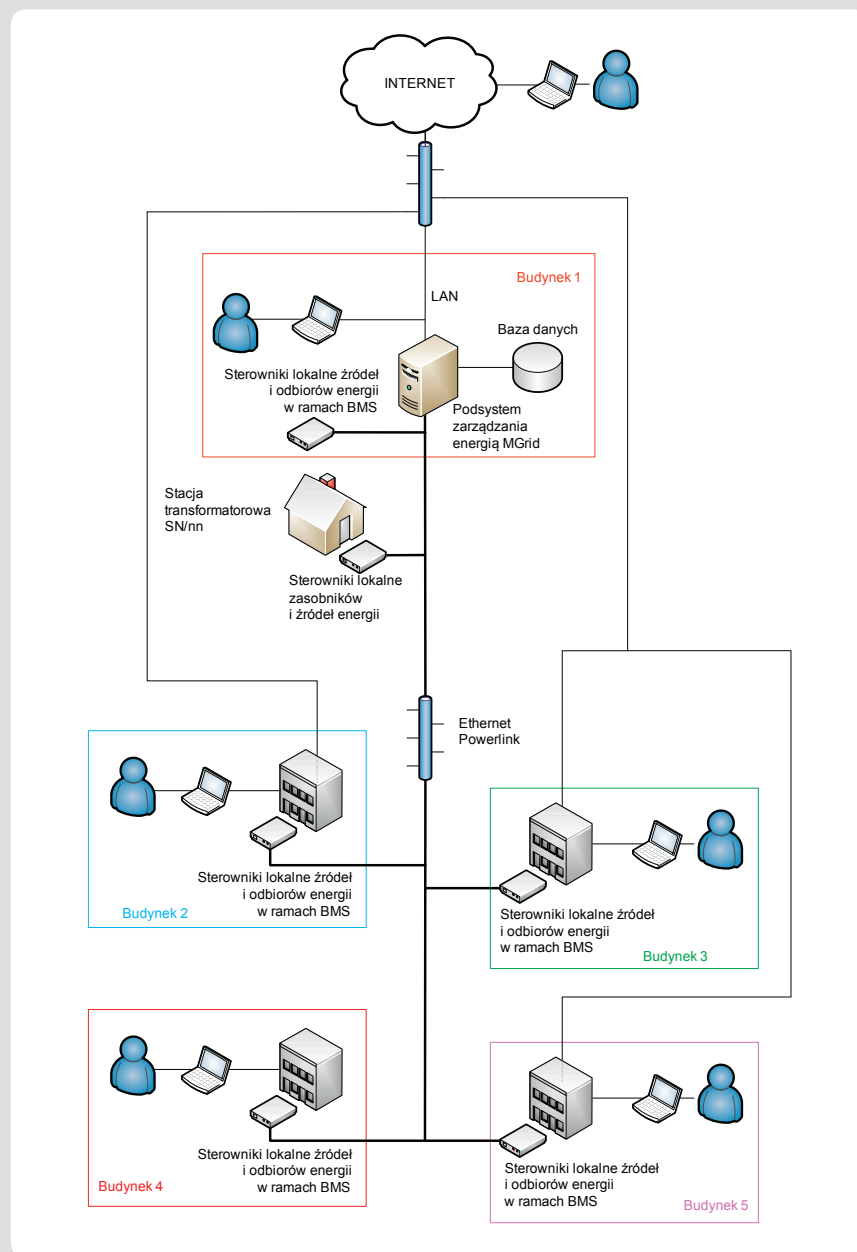
Tego typu tryb pracy będzie wymagał zupełnie innego sposobu optymalizacji pracy mikrosieci. Jak wiadomo, pewne odbiory muszą mieć jak najwyższą (gwarantowaną) ciągłość zasilania (np. oświetlenie awaryjne, pompy i wentylatory pożarowe, zapewnienie ciągłości pewnych procesów produkcyjnych) [12]. Pozostałe odbiory będą zasilane warunkowo, jeśli lokalne zasoby energii w określonym horyzoncie czasu na to pozwalają. Zarządzanie zapotrzebowaniem może się odbywać w sposób „miękki”, np. poprzez zmniejszenie nastaw regulatorów temperatury, natężenia oświetlenia, jak również w sposób twardy, np. przez zadawanie sygnału wyłączenia

na akty oświetleniowe, grzewcze, klimatyzacyjne lub na cewkę wybijakową, współpracującą z rozłącznikiem na dopływie wybranej sekcji odbiorów elektrycznych.

W trybie pracy wyspowej MGrid będzie pozwalał w dalszym ciągu na optymalną w danych warunkach pracę mikrosieci, z tym że w funkcji kryterialnej istotniejszą rolę będą grać koszty wynikające ze strat w niedostarczonej energii. W przypadku braku odpowiednich danych kosztowych będzie możliwe wcześniejsze ustalenie priorytetów pracy odpowiednich grup odbiorów.

C. Moduł handlu energią

Możliwość konkurencyjnego handlu energią i usługami systemowymi jest podstawowym założeniem paradygmatu mikrosieci energetycznych jako elementu koncepcji Smart Grid [13, 4]. W systemie MGrid rozważa się opracowanie modułu pozwalającego m.in.



Rys. 2. Koncepcja struktury fizycznej podsystemu zarządzania energią w MGrid

na wspomaganie tworzenia godzinowych grafików sprzedaży i zakupu energii elektrycznej oraz ciepła, po czym przesyłanie ich do stron kontraktów, jak również do przedsiębiorstw odpowiedzialnych za bilansowanie handlowe (w przypadku energii elektrycznej). Osoba odpowiedzialna za handel energią na rynku będzie wspomagana układanymi przez MGrid planami pracy mikro sieci, opartymi na średnio- oraz krótkoterminowych prognozach zapotrzebowania oraz produkcji energii.

W założeniach koncepcji Smart Grid mikro sieci mogą stanowić źródło/odbior sterowalny, będący elementem wirtualnej elektrowni, działającej jako agregator usług systemowych. Mikro sieci, pod warunkiem spełnienia wymagań technicznych odnośnie dostępnych mocy wytwórczych oraz stosownych układów regulacji, będą mogły świadczyć poprzez agregatorów usługi systemowe na rzecz operatorów sieciowych (OSP i OSD), takie jak:

- operacyjna lub interwencyjna rezerwa mocy
- udział w regulacji pierwotnej
- udział w regulacji wtórnej
- udział w automatycznej regulacji napięcia i mocy biernej
- generacja wymuszona względami sieciowymi.

W przyszłości, kiedy rozwiną się rynki energii czasu rzeczywistego, od modułu wspomagającego udział mikro sieci w rynku energii i usługach systemowych będzie wymagane podejmowanie szybkich, optymalnych decyzji. W takim przypadku, w systemie MGrid przewiduje się zaimplementowanie zaawansowanego systemu agentowego. Zadaniem takiego automatycznego agenta będzie zawieranie kontraktów na lokalnych rynkach energii poprzez inteligentne strategie, grę rynkową oraz negocjacje ze stronami kontraktu, tak aby dążyć do spełnienia założonych celów. Interesującą propozycją jest stworzenie otwartej, wieloagentowej platformy działającej na lokalnych rynkach energii. Dla osiągnięcia tego celu musi zostać wykorzystany odpowiedni standard komunikacji między agentami, np. M3 [14].

4.3. Podsystem prognostyczny

Typowe (naturalne) zapotrzebowanie na energię elektryczną, ciepło i chłód oraz lokalna produkcja energii powinny być prognozowane zgodnie z optymalizowanymi planami produkcji, zakupu i zużycia energii:

- w horyzoncie kilku tygodni z dobową rozdzielczością czasową (prognozowanie średnioterminowe)

- na dwie doby naprzód z rozdzielczością godzinową (prognozowanie krótkoterminowe)
- na kilka godzin naprzód z rozdzielczością kilkuminutową (prognozowanie ultrakrótkoterminowe).

W tym celu MGrid będzie wykorzystywał różnego rodzaju techniki prognostyczne, oparte m.in. na regresji statystycznej, modelach szeregów czasowych, modelach ekonometrycznych oraz technikach sztucznej inteligencji, takich jak sztuczna sieć neuronowa oraz logika rozmyta. Proces prognozowania zapotrzebowania na energię będzie wspomagany poprzez inwentaryzację i deklarowane programy pracy wybranych odbiorników energii. Z kolei w procesie prognozowania produkcji energii w lokalnych źródłach energii OZE będzie potrzebna wykorzystania numerycznych prognoz pogody oraz pomiarów w lokalnych stacjach meteo.

Zapotrzebowanie na energię przez wybrane zdarzenia, związane m.in. z procesami przemysłowymi, udziałem w imprezach, konferencjach, korzystaniem z pokoi hotelowych, będą mogli zgłaszać (deklarować) pracownicy tego typu podmiotów. Zgłoszenie to będzie mogło być dwojakiego typu:

- zablokowane – sztywny termin zdarzenia
- odblokowane – optymalny termin zdarzenia będzie podpowiadany przez system MGrid.

5. Wnioski końcowe

Zrealizowanie założonej koncepcji systemu MGrid powinno pozwolić na uzyskanie kompleksowego rozwiązania, wspomagającego różnego rodzaju działania wokół szeroko pojmowanych mikro sieci. Zakładane korzyści ze stosowania zaproponowanego rozwiązania będą obejmowały nie tylko właścicieli mikro sieci, ale także operatorów sieci oraz pośrednio całego społeczeństwa.

Projekt „MGrid” realizowany przez firmę Globema sp. z o.o., przy współudziale Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej, jest współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, działanie 1.4.

Bibliografia

1. Biczal P., Wytwarzanie energii w mikro sieciach, *Automatyka – Elektryka – Zakłócenia* 2011, nr 4.
2. Olszowiec P., Autonomiczne systemy elektroenergetyczne małej mocy. *Mikro sieci, Energia Gigawat* 2009, nr 7–8.

3. Hatziargyriou N.D. i in., *Microgrids, IEEE Power & Energy Magazine* 2007, Vol. 5, No. 4, s. 78–94.
4. Lasseter R. i in., *White Paper on Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS MicroGrid Concept, Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS), CA, Tech. Rep. LBNL-50829, Apr. 2002.*
5. Kueck J.D. i in., *Microgrid Energy Management System, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, January 29, 2003.*
6. Hatziargyriou N., *Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids, Executive Summary Report Final Results, 2009.*
7. Parol M., Wymiana energii elektrycznej między mikro siecią a siecią spółki dystrybucyjnej, *Przegląd Elektrotechniczny [Electrical Review]* 2010, nr 8.
8. Baczyński D., Koncepcja obliczeń technicznych i ekonomicznych dla potrzeb lokalnych rynków energii, *Rynek Energii* 2008, nr 4, str. 17–24.
9. Księżyk K., Parol M., Steady states analysis of microgrids operation, *Przegląd Elektrotechniczny [Electrical Review]* 2008, r. 84, nr 11, s. 14–19.
10. Katiraei F., Iravani R., Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units, *IEEE Transactions on Power Systems* 2006, Vol. 21, No. 4, s. 1821–1831.
11. Oyarzabal J. i in., *Agent based Micro Grid Management System. CD Proceedings of the Int. Conf. on Future Power Systems FPS 2005, November 16–18, 2005, Amsterdam, s. 6.*
12. Parol M., Baczyński D., *Automatyka zabezpieczeniowa oraz resynchronizacja mikro sieci, VI Konferencja Naukowo-Techniczna „Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce – Sieci 2008”, Szklarska Poręba, 10–12 września 2008, str. 19–26.*
13. Hatziargyriou N.D. i in., *Management of microgrids in market environment, presented at the International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, Netherlands, 2005, available on the website: ieeexplore.ieee.org.*
14. Kacprzak P.H. i in., *Multi-commodity Market Data Mode, Technical report, available at: http://www.openm3.org.*

Dariusz Baczyński

dr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: dariusz.baczyński@ien.pw.edu.pl

Wychowanek Politechniki Warszawskiej. Jest adiunktem w Instytucie Elektroenergetyki PW. Zajmuje się problematyką sieci rozdzielczych, prognozowaniem, optymalizacją, metodami sztucznej inteligencji oraz szeroko pojętym zastosowaniem systemów informatycznych w elektroenergetyce.

Piotr Helt

dr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: piotr.helt@ien.pw.edu.pl

Wychowanek Politechniki Warszawskiej. Pracuje na swojej macierzystej uczelni, od 2009 roku kieruje Studiami Podyplomowymi „Nowoczesne Metody Analiz w Elektroenergetyce”. Konsultant ds. systemów Smart Grid w firmie Globema sp. z o.o. Obszar zainteresowań zawodowych: systemy informacji geograficznej, w szczególności jej zastosowania w elektroenergetyce, sieci i systemy elektroenergetyczne, przede wszystkim sieci rozdzielcze, metody sztucznej inteligencji i ich wykorzystanie w problemach optymalizacyjnych. Autor wielu artykułów i publikacji na konferencjach krajowych i zagranicznych. Wykonawca wielu prac naukowo-badawczych, grantów i ekspertyz, przede wszystkim w dziedzinie elektroenergetyki.

Marek Maniecki

dr inż.

Globema sp. z o.o.

e-mail: marek.maniecki@globema.pl

Absolwent Politechniki Warszawskiej. Od 1999 roku jest wiceprezesem zarządu firmy Globema sp. z o.o. Członek honorowy Polskiego Towarzystwa Informatycznego, członek Rady Polskiej Izby Informatyki i Telekomunikacji, przewodniczący Komitetu Energia PIIT. Zainteresowania zawodowe: problematyka zarządzania projektami informatycznymi, projektowanie i tworzenie systemów informatycznych, w szczególności systemów informacji przestrzennej (GIS), a także systemy informatyczne dla inteligentnych sieci energetycznych (Smart Grid).

Jacek Wasilewski

dr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: jacek.wasilewski@ien.pw.edu.pl

Absolwent Politechniki Warszawskiej (2005). Zatrudniony jest na stanowisku asystenta w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się wokół obecnych oraz przyszłościowych struktur sieci dystrybucyjnych (konceptje typu „smart”), a przede wszystkim ich analizy systemowej (optymalne planowanie i sterowanie pracą).