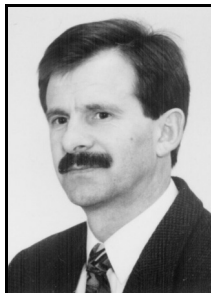


**Radosław GRECH, Emil MICHTA**  
 INSTYTUT POLITECHNICZNY, PWSZ SULECHÓW,  
 66-100 Sulechów, al Armii Krajowej 51

## Mikrosieć energetyczna z turbiną gazową i instalacją PV

Doc. dr inż. Emil MICHTA

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1978r. Od 2009 r. jest pracownikiem Instytutu Politechnicznego PWSZ Sulechów. Stopień naukowy doktora otrzymał w Instytucie Metrologii Elektrycznej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w 1989 r. Zainteresowania koncentrują się na zagadnieniach inteligentnej aparatury pomiarowo – sterującej, systemów rozproszonych i sieci przemysłowych.



e-mail: E.Michta@pwsz.sulechow.pl

Mgr inż. Radosław GRECH

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego w 2008 r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Sulechowie. Jest Prezesem Zarządu Centrum Energetyki Odnawialnej przy PWSZ w Sulechowie. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z odnawialnymi źródłami energii i systemami zarządzania produkcją energii.



e-mail: R.Grech@pwsz.sulechow.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono mikrosieć energetyczną z mikroturbiną gazową i instalacją PV. Dla takiej mikrosieci zaproponowano dwupoziomową strukturę systemu do zarządzania pracą mikrosieci. Przedstawiono podstawy zarządzania pracą mikrosieci z zastosowaniem przetwarzania regułowego.

**Słowa kluczowe:** mikrosieci energetyczne, mikroturbiny gazowe, PV.

### Energy microgrid with gas micro turbine and PV installation

#### Abstract

The article presents microgrid with gas micro turbine and PV installation. For such microgrid a two-level structure of a system to manage the work of microgrid is proposed. Basics of a microgrid management using the rule base processing are outlined. Figure 1 shows the structure of microgrid, which distinguishes two levels of functionality associated with the management of microgrid marked in the figure 1 as LSM (local microgrid controller) and CSM (microgrid central controller). Characteristics of power generation in the present system is dependent on the performance characteristics of each generation equipment, as shown in Figure 2. One of the key issues related to the efficient functioning of the Smart Metering and Smart Grid is a solution of a data processing and the implementation of control functions at the level of microgrid. In such a microgrid structure it is proposed to introduce a rule-based processing on the level of controllers CSM and LSM. The use of rule-based processing requires a transition from numerical record to symbolic record, which allow to achieve the universality that define the state of the current process, eg electricity consumption in a given area at a given level and not numerical values, but for example in the form of terms *Green* (G), *Yellow* (Y) or *Red* (R). Determination of the current state of the energy consumption in different areas of the LSM is the basis for rule-based processing and requires the processing of the rules. The set of example rules is shown at the end of the article.

**Keywords:** Power Microgrids, Micro Gas Turbine, PV.

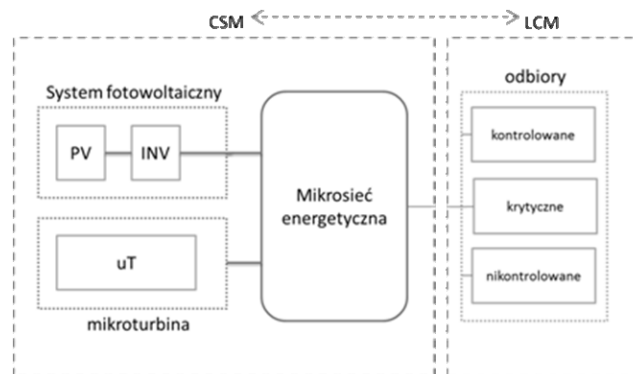
## 1. Wprowadzenie

Rozwój sieci elektroenergetycznych w kierunku sieci inteligentnych, otwartych na mikrogenerację rozproszoną z odnawialnymi źródłami energii wymaga rozwiązania problemu lokalnego zarządzania infrastrukturą mikrosieci. Funkcjonowanie hybrydowej mikrosieci wymaga podejmowania decyzji na podstawie danych otrzymanych z poziomu operatora nadrzędnego oraz na podstawie danych zgromadzonych w danej mikrosieci. W artykule zaproponowano strukturę dwupoziomową strukturę zarządzania pracą mikrosieci, w której przetwarzanie danych będzie odbywało się z wykorzystaniem przetwarzania regułowego. Mikrosieć elektroenergetyczna to zbiór powiązanych źródeł, odbiorów i ewentualnie zasobników energii wewnętrznie zbilansowany i zdolny do pracy w układzie pracy wyspowej z możliwością przyłączenia do KSE. Generacja energii odbywa się w hybrydowym układzie wytwarzania opartym głównie o odnawialne źródła energii. [1, 3,

4, 6] Układy hybrydowe zostały zdefiniowane w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 roku. Wg rozporządzenia układ hybrydowy to „jednostka wytwórcza wytwarzająca energię elektryczną albo energię elektryczną i ciepło, w której w procesie wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła wykorzystywane są nośniki energii wytwarzane oddzielnie w odnawialnych źródłach energii, z możliwością wykorzystania paliwa pomocniczego, i w źródłach energii innych niż odnawialne źródło energii, pracujące na wspólny kolektor oraz zużywane wspólnie w tej jednostce wytwórczej do wytworzenia energii elektrycznej lub ciepła” [5].

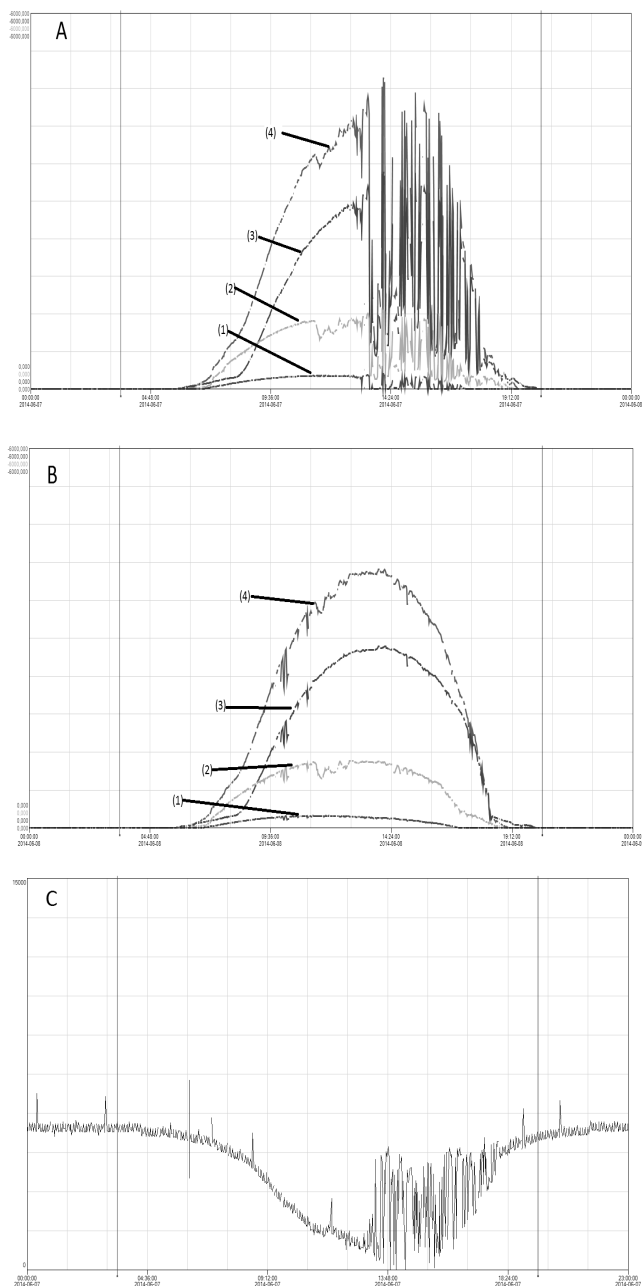
## 2. Mikrosieć energetyczna

Prezentowana w artykule mikrosieć elektroenergetyczna oparta została o biwalentny układ produkcji energii składający się z instalacji fotowoltaicznej oraz mikroturbiny gazowej wraz z odbiorami tej energii i systemem zarządzania mikrosiecią obejmującą regulację napięcia, sterowanie przepływami mocy, rozdzielaniem (ew. ograniczaniem) obciążenia odbiorów podczas pracy wyspowej. Na rys. 1 przedstawiono strukturę mikrosieci, w której wyróżniono dwa poziomy funkcjonalne związane z zarządzaniem mikrosiecią oznaczone na rysunku jako LSM (lokalny sterownik mikrosieci) i CSM (centralny sterownik mikrosieci). Moduły zarządzające CSM i LSM są ze sobą połączone łączem komunikacyjnym. Moduł LSM posiada na poziomie lokalnym autonomię, ale jego funkcjonowanie jest zależne od otrzymywanych danych z poziomu nadrzędnego CSM. W przypadku podłączenia mikrosieci do sieci elektroenergetycznej, moduł CSM współpracuje z modułem zarządzającym operatora systemu dystrybucji energii elektrycznej



Rys. 1. Struktura mikrosieci opartej na instalacji PV i mikroturbinie  
 Fig. 1. Microgrid with PV and mikroturbine

Charakterystyka wytwarzania energii w prezentowanym systemie uzależniona jest od charakterystyki pracy poszczególnych urządzeń wytwórczych. Mikroturbina pracująca w „priorytecie elektrycznym” wytwarza energię elektryczną w ilości uzależnionej od potrzeb konsumpcji energii (rys. 2 c). Ważnym elementem wpływającym na dalszy opisany system zarządzania energią jest moc maksymalna mikroturbiny, wpływająca na ogólną moc nominalną mikro sieci, dla której definiowane są progi mocy systemu. Produkcja energii z wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznych charakteryzuje się dużą zmiennością dostępnej mocy (rys. 2 a,b). Uzależnione jest to od panujących warunków atmosferycznych w miejscu lokalizacji instalacji, ale również od pory dnia czy roku.



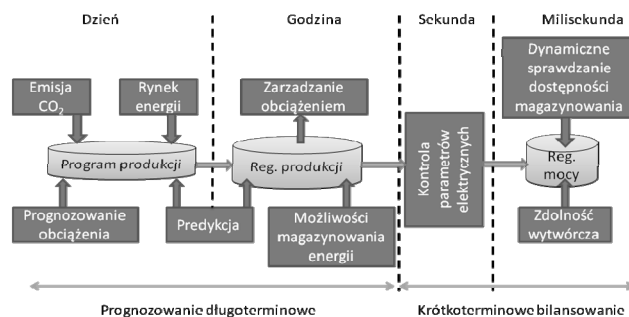
Rys. 2. a) Wykres produkcji energii z instalacji fotowoltaicznej – dzień częściowo pochmurny, b) wykres produkcji energii z instalacji fotowoltaicznej – dzień słoneczny, c) wykresy produkcji energii z mikroturbiny dla przykładu (a) produkcji energii z instalacji fotowoltaicznej w systemie współpracy z rys. 1  
Fig. 2. a) Chart of energy production from photovoltaic system - a partly cloudy day, b) chart of energy production from the photovoltaic - solar day, c) charts of micro turbine energy production, for example, (a) the production of energy from the photovoltaic system as shown in Figure 1

Na rysunkach przedstawiono przykładowe wykresy produkcji energii przez instalację fotowoltaiczną dla trzech różnych typów

instalacji (zintegrowanej z budynkiem ustawionej w kierunku wschodnim (1), wolnostojącej na stelażu ustawionej w kierunku południowym (3), zainstalowanej w układzie nadążnym – z regulacją położenia w płaszczyźnie poziomej i pionowej (2) oraz łączną charakterystykę produkcji dla wszystkich instalacji) Szczególnie negatywny wpływ na produkcję energii mają chmury dynamicznie zmieniające zacielenie słońca a tym samym możliwości generowanej mocy. Na rys. 2 widoczne są różnice w produkcji energii w zależności od zastosowanego systemu i jego ukierunkowania.

Wytwarzana energia elektryczna przez instalację fotowoltaiczną uzupełniana jest do mocy przyłączonych obciążenia przez mikroturbinę (rys. 2c). Ta z kolei w swojej charakterystyce pracy dynamicznie uzupełnia dostępną moc w systemie.

Ważnym elementem jest dookreślenie nominalnej mocy systemu mającej decydujący wpływ na parametry zarządzania mikro siecią. Dobór mikro sieci uzależniony jest od konsumpcyjnych profili energetycznych przyłączonych odbiorców/odbiorów. Dobierając poszczególne elementy mikro sieci należy szczególną uwagę zwrócić na instalację fotowoltaiczną, dla której zależnie od warunków atmosferycznych dostępna moc nominalna może się wahać od zera (np. w nocy) do wartości nominalnej instalacji. Dlatego też dobierając system należy w szczególności zabezpieczyć moce „odbiorów krytycznych” ze stabilnego źródła energii tj. mikroturbiny.



Rys. 3. Długo i krótkoterminowe zarządzanie mikro siecią  
Fig. 3. Long term and short term microgrid management

### 3. Zarządzanie mikro siecią

Podstawowym zadaniem modułu zarządzającego CSM jest zarządzanie mocą i energią tak, aby utrzymać system w równowadze pomiędzy aktualną mocą zapotrzebowaną i wytwarzaną. [2, 7] CSM na podstawie dostępnych prognoz długoterminowych oraz na podstawie bilansowania krótkoterminowego ustala referencyjne wartości mocy czynnej i biernej oraz wypracowuje sygnały sterujące przesyłane bezpośrednio do źródeł energii jej magazynów lub odbiorów oraz do modułu LSM. Na rys. 1 przedstawiono strukturę funkcjonalną systemu zarządzania mikro sieci. Występujący na najniższym poziomie sterownik LSM komunikuje się z urządzeniami sieci elektroenergetycznej oraz z licznikami energii elektrycznej zainstalowanymi u odbiorców energii elektrycznej. Ponadto sterownik LSM może komunikować się z inteligentnymi urządzeniami klasy *Home Automation End Device*, *In-House Display* lub konfigurowalną tablicą rozdzielczą oraz z CSM. Dane pomiarowe z liczników poprzez sterowniki LSM i CSM mogą być przesyłane do serwera AMI. Fizyczna realizacja tej dwupoziomowej struktury może zostać ograniczona jedynie do jednego poziomu. Wówczas dane z liczników pomiarowych przesyłane są bezpośrednio do sterownika CSM a następnie do serwera AMI. Sterowniki CSM i LSM identyfikowane są przez trzypoziomowe pola adresowe oddzielone kropkami np.: LSM 1.3.27. Zapis ten oznacza adres sterownika LSM, który jest podłączony do sterownika CSM o adresie 1.3.0 w mikro sieci o adresie 1.0.0.

Jedną z kluczowych kwestii związanych z efektywnym funkcjonowaniem *Smart Meteringu* i *Smart Gridu* jest rozwiązanie sposobu przetwarzania danych i realizacji funkcji sterujących na poziomie mikrosieci. W takiej strukturze proponuje się wprowadzenie przetwarzania regułowego na poziome sterowników CSM i LSM.

Stosowanie przetwarzania regułowego wymaga przejścia z zapisu liczbowego na zapis symboliczny, co pozwala na osiągnięcie uniwersalizmu polegającego na tym, że określamy stan np. aktualnego poboru energii elektrycznej w danym obszarze i na danym poziomie nie w wartościach liczbowych, ale np. w postaci określeń: *Green* (G), *Yellow* (Y) lub *Red* (R). Wyznaczenie aktualnego stanu poboru energii elektrycznej w poszczególnych obszarach LSM stanowi bazę dla przetwarzania regułowego i wymaga przetworzenia następujących reguł:

- R1: **IF** *Power Consumption* <= 0,75 *Nominal Power* **THEN**  
HH = "GREEN";
- R2: **IF** *Power Consumption* > 0,75 *Nominal Power* **AND**  
*Power Consumption* <= *Nominal Power* **THEN**  
HH = "YELLOW";
- R3: **IF** *Power Consumption* > *Nominal Power* **THEN**  
HH = "RED";

Stan *GREEN* oznacza, że aktualny pobór mocy jest znacznie poniżej wartości nominalnej. Stan *Yellow* oznacza, że aktualny pobór mocy nie przekracza poboru nominalnego, ale może być bliski jego przekroczenia, natomiast stan *RED* oznacza, że aktualny pobór mocy przekracza poziom nominalny. Jeżeli nastąpi zmiana stanu poboru mocy, to informacja o zmianie stanu z w jednym ze sterowników LSM lub sterowniku CSM jest rozsyłana do wszystkich pozostałych sterowników w mikrosieci. Wyzwalanie przetwarzania reguł może być inicjowane poprzez zdarzenia zdefiniowane w systemie np. czas lub wygenerowanie zapytania (*BHi Power Consumption?*) przez urządzenie z grupy *Home Automation End Device*, moduł LSM lub serwer AMI.

Stawianie hipotezy np.: *PLUG IN?* przez *Home Automation End Device* inicjuje przetwarzanie regułowe w LSM, do którego to zapytanie zostało dostarczone i polega ono na wykonaniu następujących reguł:

- R5: **IF** LSM = "RED" **THEN** *PLUG IN* = "NO";
- R6: **IF** LSM = "GREEN" **THEN** *PLUG IN* = "YES";
- R7: **IF** LSM = "YELLOW" **AND** CSM = "GREEN" **OR**  
CSM="YELLOW" **THEN** *PLUG IN* = "YES";
- R8: **IF** LSM = "YELLOW" **AND** CSM = "RED" **THEN**  
*PLUG IN* = "NO";

Grupa reguł odnosząca się do hipotezy *PLUG IN?* i do inteligentnych odbiorów może być szczególnie ważna z punktu widzenia zapewnienia stabilnej pracy mikrosieci. Z jednej strony pozwoli ona na uniknięcie sytuacji, w której zdolności wytwórcze mikrosieci będą niższe niż bieżące zapotrzebowanie na energię elektryczną, a z drugiej strony to zapytanie można wykorzystać do zwiększenia wytwarzanej mocy do takiego poziomu, ażeby pokryć pojawiające się zapotrzebowanie podłączonego urządzenia.

Reguły są przetwarzane sekwencyjnie. Pierwsze spełnienie warunku przez przetwarzaną regułę kończy proces wnioskowania. Podobne hipotezy (zapytania) mogą być stawiane w odniesieniu do wielu innych sytuacji. Jeżeli sterowniki LSM lub CSM są w stanie RED, to wykorzystując przetwarzanie regułowe można podjąć decyzje o odłączeniu wybranych odbiorników, które w danej chwili pobierają energię elektryczną i należą do grupy odbiorów, które można zdalnie odłączyć. Podobne działania mogą być podejmowane w odniesieniu do wybranych obwodów. Aktualnie pracujące urządzenia znajdują się na liście uszeregowane według priorytetu ważności. Podobnie jest z obwodami. Poniżej

przedstawiono przykładowe reguły sterowania odbiorami lub obwodami, które umieszczone są w jednym z modułów LSM:

- R9: **IF** LSM i = "RED" **AND** LSM j = "RED" **OR**  
CSM = "RED" **THEN** HAED (i) = "OFF";
- R10: **IF** LSM i = "RED" **AND** LSM j = "RED" **OR**  
CSM = "RED" **THEN** CIRCUIT (i) = "OFF";

gdzie: HAED (i) jest pierwszym urządzeniem na liście urządzeń pracujących a CIRCUIT (i) jest pierwszym z listy załączonych obwodów o najniższym priorytecie. Odłączenie urządzenia lub obwodu powoduje usunięcie go z listy podłączonych urządzeń.

#### 4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono strukturę prostej mikrosieci z mikro-turbiną gazową oraz instalacją PV, dla której zaproponowano rozwiązanie systemu zarządzania jej pracą z wykorzystaniem przetwarzania regułowego. Przedstawione przykłady reguł odnoszą się do dwupoziomowej struktury przedstawionej na rys. 1, natomiast w przypadku kiedy struktura ta będzie np. trój- lub jednopoziomowa lub jeżeli funkcje sterowników będą realizowane na serwerze EMS (sterowniki wirtualne), to sytuacja ta musi być uwzględniona na etapie tworzenia reguł i ich umieszczaniu w systemie. Zaletą proponowanego rozwiązania jest uzyskanie uniwersalizmu przetwarzania polegającego na niezmienności części programowej, co ma wpływ na niezawodność części programowej. Ta cecha systemu jest bardzo pożądana zwłaszcza w przypadku realizacji funkcji sterujących zawiązanych z przyłączaniem nowych odbiorów lub w przypadku konieczności odłączania odbiorów aktywnych.

#### 5. Literatura

- [1] Parol M. i inni: Mikrosieci niskiego napięcia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
- [2] Kanchev H., Lu D., Colas F., Lazarov V., Francois B.: Energy Management and Operational Planning of a Microgrid with a PV-based Active Generator for Smart Grid Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, October 2011. Pp. 4583-4592.
- [3] Biczek P.: Integracja rozproszonych źródeł energii w mikrosieci, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki.
- [4] Olszowiec P.: Autonomiczne systemy elektroenergetyczne małej mocy. Mikrosieci, Energia Gigawat, 7-8/2009.
- [5] Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii.
- [6] Szkutnik J.: Perspektywy i kierunki rozwoju systemu elektroenergetycznego. Zagadnienia wybrane, seria Monografie. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2011.
- [7] Wasilewski J., Parol M., Wójtowicz T., Nahorski Z.: A microgrid structure supplying a research and educational centre – Polish case, Proceedings of the 3rd IEEE PES "Innovative Smart Grid Technologies (ISGT 2012) Europe Conference", Berlin, 14-17 October, 2012, 7 pp.

otrzymano / received: 01.08.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.10.2014

artykuł recenzowany / revised paper