

69/2011

**Raport Badawczy**  
**Research Report**

**RB/77/2011**

**Ogólny projekt systemów  
bilansowania energii  
w ośrodku  
badawczo-szkoleniowym**

**Z. Nahorski, 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 2011

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Zbigniew Nahorski, Weronika Radziszewska

Ogólny projekt systemów bilansowania energii  
w ośrodku badawczo-szkoleniowym

Warszawa 2011

Projekt badawczy własny Nr N N519 580238  
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

**Komputerowe zarządzanie energią w ośrodku badawczo-szkoleniowym z rozproszonymi źródłami energii i zmiennym zapotrzebowaniem energetycznym na eksperymenty badawcze**

Kierownik projektu:

prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Zadanie:

**Opracowanie algorytmów wieloagentowych do bilansowania na bieżąco energii generowanej i pobieranej w ośrodku badawczo-szkoleniowym**

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>5</b>
1.1	Informacja o projekcie . . . . .	5
1.2	Cele projektu . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Warstwy i podział projektu</b>	<b>9</b>
2.1	Warstwa fizyczna . . . . .	11
2.1.1	Model sieci ciepłej . . . . .	11
2.1.2	Model sieci elektrycznej . . . . .	12
2.2	Warstwa logiczna . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Wyróżnione systemy</b>	<b>17</b>
3.1	System zbierania zdarzeń . . . . .	17
3.2	Model sieci elektrycznej i ciepłej . . . . .	18
3.3	System bieżącego bilansowania energii . . . . .	19
3.4	Monitor i Zarządca . . . . .	20
3.5	System planowania (Planista) . . . . .	21
3.5.1	System prognoz . . . . .	21
3.5.2	System szeregowania . . . . .	21
3.6	System handlu z operatorem sieci zewnętrznej . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Wyróżnione zbiory danych</b>	<b>23</b>
4.1	Parametry pracy urządzeń . . . . .	23
4.2	Dane o zadaniach i uszeregowaniu zadań . . . . .	24
4.3	Dane o niezbilansowaniu . . . . .	25
4.4	Prognozy . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Komunikacja między systemami</b>	<b>27</b>



# Rozdział 1

## Wstęp

### 1.1 Informacja o projekcie

Opracowanie prezentuje ogólny projekt systemów, które zostaną stworzone w ramach projektu badawczego własnego Nr N N519 580238 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Komputerowe zarządzanie energią w ośrodku badawczo-szkoleniowym z rozproszonymi źródłami energii i zmiennym zapotrzebowaniem energetycznym na eksperymenty badawcze”.

Projekt bada możliwości dynamicznego bilansowania energii w małej sieci w celu zoptymalizowania kosztów działania takiej sieci oraz zwiększenia wykorzystania ekologicznych źródeł energii. Bilansowanie energii to zapewnienie równowagi pomiędzy ilością prądu pobieranego i dostarczanego w taki sposób, aby zapewnić dobre parametry jakościowe prądu. Wyznacznikami jakościowymi są częstotliwość, wartość, wahania i skoki napięcia, pojawienie się przerw w zasilaniu, napięcia przejściowe, asymetria napięcia zasilającego i itp.. Określenie obowiązujących parametrów jakościowych energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom można znaleźć w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci (Dz. U. z 2005 r. Nr 2, poz. 6).

Obecnie dużo się mówi o problemach rosnących kosztów życia, wzroście cen energii elektrycznej i ograniczeniach w produkcji energii związanymi z nakładanymi na kraje Europy limitami na emisję gazów cieplarnianych. Odnawialne źródła energii wydają się dobrym rozwiązaniem tych problemów, gdyż emitują zdecydowanie mniej zanieczyszczeń oraz są tanie w eksploata-

cji. Rosnąca popularność zielonych technologii powoduje powolny spadek ceny zakupu i instalacji odnawialnych źródeł energii elektrycznej na tyle, że niedługo będą one w zasięgu portfela osób średniozamożnych. Wysoka cena energii elektrycznej jest wynikiem polityki cenowej wielkich dostawców energii oraz kosztami związanymi z przesyłaniem prądu na duże odległości. Optymalizacja kosztów oznacza takie zarządzanie dostępną energią, aby wykorzystać własne zasoby zielonej energii i zminimalizować konieczność kupowania energii od operatora sieci zewnętrznej. Dużo korzystniejsze cenowo jest zawieranie umów z wyprzedzeniem niż kupowanie energii w momencie wystąpienia deficytu. Taka możliwość niestety nie jest to dostępna dla odbiorców detalicznych. Obecnie w Polsce mali producenci energii mają bardzo słabą pozycję na rynku i nie mogą wynegocjować dobrych cen. Popularyzacja odnawialnych mikroźródeł energii wymusi zmianę polityki na rynkach energii. Obecnie, ze względu na poziom cen zarówno kupowanie energii jest mało opłacalne (jest ona bardzo droga), jak i sprzedawanie energii wyprodukowanej w niewielkich generatorach jest dużo mniej opłacalne niż jej zużycie na własne potrzeby.

Projekt dotyczy zarządzania energią w ośrodku badawczo-szkoleniowym złożonym z kilku budynków, w których zakłada się, że znajdują się pomieszczenia takie jak: sale konferencyjne, laboratoryjne, seminaryjne, pracownice, pomieszczenia socjalne, rekreacyjne, pokoje biurowe, administracyjne, restauracja z zapleczem, aneks kawiarniany oraz hotel. Ośrodek będzie służył jako centrum badawcze odnawialnych źródeł energii, gdzie będą odbywać się szkolenia, badania, konferencje o tej tematyce oraz zakłada się organizowanie w nim eksperymentów badawczych dotyczących energii.

Zakładana w projekcie sieć jest mała, a niewielka liczba urządzeń powoduje, że łatwo dochodzi do niebilansowania energetycznego. Także z tego względu, że zapotrzebowanie na energię ośrodka zmienia się bardzo dynamicznie. Niektórych poborów energii nie da się przewidzieć, na przykład częstotliwości włączania czajników lub używania kuchenek mikrofalowych co w tak małej sieci może już być wykrywane jako istotne niebilansowanie. Jednakże wiedząc, że duża część personelu po przyjeździe do pracy parzy kawę, można z pewnym przybliżeniem przewidzieć wzrost poboru energii w godzinach porannych. Część hotelowa ośrodka w pewnych okresach może być wypełniona, co powoduje zwiększone zapotrzebowanie na energię nie tylko w części hotelowej, ale też w kuchni i zużyciu ciepłej wody. Laboratoria prowadzą badania dotyczące technologii i technik generacji energii ze źródeł odnawialnych, więc należy uwzględnić sytuację, gdy zapotrzebowanie ener-



getyczne ośrodka znacznie wzrosnąć ze względu na przeprowadzane eksperymenty. W projekcie nie zakłada się narzucania pracownikom i gościom, ile energii lub kiedy może być zużyte. Jednakże jest możliwe, z pewnym przybliżeniem, określenie rutynowego zużycia energii na podstawie statystycznych danych (na przykład w lecie część energii zostanie zużyta na klimatyzowanie pomieszczeń, a w zimie dłużej włączone jest oświetlenie). Niektóre zdarzenia można zaplanować, na przykład zajęcia szkoleniowe, konferencje, czy eksperymenty badawcze. Dostępne też będą informacje na temat liczby pracowników, urlopów i liczby gości hotelowych. Jednym z elementów projektu jest stworzenie systemu do wprowadzania zdarzeń oraz ich szeregowania. Polega to na ustaleniu planu wykonania zadań z uwzględnieniem ich specyficznych ograniczeń oraz wymagań, tak aby jak najbardziej równomiernie rozłożyć obciążenia lub wykorzystać momenty występowania nadprodukcji energii. System może zasugerować użytkownikom lepszy moment na wykonanie zadania, co poprawi rozłożenie zadań w czasie. Dzięki temu być może da się uniknąć chwilowych nadmiernych obciążeń sieci, a na pewno system uzyska informację o możliwości wystąpienia takiej sytuacji.

Ośrodek specjalizuje się w badaniach nad zielonymi technologiami generacji energii i w konsekwencji na terenie ośrodka są rozmieszczone małe generatory energii. Są to zarówno generatory energii odnawialnej, np. panele fotowoltaiczne, turbozespoły wiatrowe i mała elektrownia wodna, jak i generatory bardziej tradycyjne typu mikroturbina gazowa lub silnikowy zespół prądotwórczy. Ośrodek ma pewne możliwości magazynowania energii: jest wyposażony w baterie akumulatorowe oraz w baterię kół zamachowych, które niwelują skoki napięcia i dają czas na przestawienie punktu pracy innych generatorów. Wydajność baterii jest oczywiście mocno ograniczona ze względów technologicznych. Ośrodek jest także podłączony do sieci zewnętrznej średniego napięcia i może w sytuacji niedoboru energii kupować od niej energię lub sprzedawać nadprodukcję.

Zakłada się, że ośrodek jest energopozytywny, czyli przy odpowiednich warunkach środowiska może występować nadprodukcja energii. Taka sytuacja nie będzie miała miejsca w momencie wykonania eksperymentów lub przy maksymalnym obciążeniu części hotelowej. W każdym momencie jest możliwość przełączenia układu w tryb pracy wyspowej, czyli odłączenie wymiany energii z siecią zewnętrzną. Projekt uwzględnia finansowe kwestie pobierania i oddawania energii z/do sieci niskich napięć. Idealną sytuacją byłaby możliwość pracy bez konieczności czerpania energii z zewnątrz, ale jak już wspomniano taka sytuacja nie jest dopuszczalna. Pobór energii z

sieci zewnętrznej wiąże się z zakupem energii, z kolei oddawanie energii do sieci będzie mogło odbywać się po niskiej cenie, ze względu na niewielką ilość energii wymienianej między ośrodkiem a siecią. Projektowane systemy mają na celu zoptymalizowanie działania ośrodka, aby wydatki na energię były jak najmniejsze.

## 1.2 Cele projektu

Celem jest stworzenie projektu systemów, służących do komputerowego zarządzania energią w ośrodku badawczo-szkoleniowym z rozproszonymi źródłami energii i zmiennym zapotrzebowaniem energetycznym na eksperymenty badawcze do zoptymalizowania pracy źródeł i odbiorników. Stan optymalny to stan najniższego kosztu działania ośrodka, w idealnych warunkach koszt bieżącej pracy powinien być bliski zeru (bez uwzględnienia amortyzacji urządzeń i kosztu ich instalacji). Celem systemów będzie zapewnienie ciągłości zasilania przy jak najkorzystniejszym zagospodarowaniu energii, jaką produkują generatory, z uwzględnieniem ograniczeń poszczególnych zasobników energii. Istotne będą także ekologiczne aspekty generacji energii, czyli minimalizacja uciążliwości dla środowiska w procesie jej tworzenia. W tym przypadku zakłada się, że źródła zielonej energia mają niższy koszt pracy.

Jak widać projekt jest złożony i w celu łatwiejszego zrozumienia wyznaczono kilka zadań realizowanych przez poszczególne systemy. Pierwszym zadaniem systemu jest zbieranie danych na temat zużycia i produkcji energii. Będzie to realizowane przez system zbierający zadania od użytkowników, oraz systemy predykcji pracy urządzeń (zarówno producentów jak i odbiorców energii) biorące pod uwagę charakterystyki poszczególnych modułów i ich zastosowania. Drugie zadanie skupia obliczeniowo trudny problem szeregowania zadań i ustalania planu pracy urządzeń. Kolejnym elementem jest uwzględnienie odchyłeń od stworzonych planów, czyli radzenie sobie z nieprzewidywalnymi czynnościami użytkowników lub zdarzeniami losowymi – za to będzie odpowiadał system krótkoterminowego bilansowania energii elektrycznej. Ostatnie zadanie to negocjacja cen energii z operatorem sieci zewnętrznej, za które będzie odpowiadał oddzielny moduł. Dodatkowo są wyznaczone elementy raportujące i monitorujące pracę całego systemu.

W kolejnych rozdziałach bardziej szczegółowo zostanie scharakteryzowana architektura systemu oraz jego elementów.

## Rozdział 5

# Komunikacja między systemami

Poszczególne podsystemy charakteryzują się dużym stopniem niezależności, jednakże wymagają wydajnego przepływu danych między sobą. Sposób wymiany danych powinien uwzględniać rodzaj i ilość danych oraz częstotliwość ich przesyłania.

Ogólnie metody wymiany danych zastosowane w systemie można podzielić na następujące kategorie:

- Wykorzystanie wspólnych zasobów lub prostej komunikacji sieciowej – wymiana danych poprzez system plików, używany w przypadku ustawiania parametrów systemów lub ich inicjalizacji.
- Wykorzystanie baz danych – bazy danych są wydajnymi strukturami do przechowywania danych, umożliwiają ustawienie uprawnień dla poszczególnych systemów i są zoptymalizowane do szybkiego wyszukiwania danych.
- Korzystając ze specjalizowanych interfejsów lub usług sieciowych – są to wysokopoziomowe metody wymiany danych, muszą być implementowane oddzielnie dla każdego systemu, jednakże umożliwiają bardziej zaawansowane formy komunikacji, jak na przykład wykorzystanie ontologii i ustalonych protokołów komunikacji; są to też metody dające możliwość tworzenia warstw pośrednich, a tym samym łączenia wielu technologii.

Komunikacja między modelami urządzeń fizycznych a systemem wieloagentowym powinna symulować połączenie rzeczywistych urządzeń. Niestety

dane na temat interfejsów i możliwości podłączenia urządzeń są trudno dostępne ze względu na nieujawnianie tych informacji przez producentów lub z powodu, że urządzenia nie są standardowo w nie wyposażone. Zakłada się, że interfejsy do niektórych urządzeń będą musiały być zaprojektowane i zbudowane specjalnie na potrzeby tego projektu. Zakładamy stworzenie architektury komunikacji korzystającej z usług sieciowych, które będą stanowiły warstwę pośrednią pomiędzy projektowanymi systemami, a rzeczywistym oprogramowaniem urządzenia. Usługi sieciowe zostały wybrane ze względu na ich dużą popularność, łatwość implementacji i rozproszony charakter (więcej na ten temat w [3]). Nie wyklucza się użycia innych interfejsów w przypadku uzyskania dokładniejszych informacji o możliwościach raportowania i sterowania urządzeniami fizycznymi.

Połączenie między systemem wieloagentowym bilansowania bieżącego a systemem planistycznym będzie odbywało się przez bazę danych prognoz, gdzie Planista będzie składował plany produkcji lub zużycia prądu przez każde urządzenie. Z kolei podsystem planowania zużycia energii będzie korzystał z danych z systemu wieloagentowego oraz z bazy danych pracy urządzeń w celu dokonywania korekty planów i harmonogramów.

Monitor będzie zbierał dane od wszystkich urządzeń i łączył pozyskane dane w raporty prezentowane operatorom systemu. Moduł doradczy w handlu z siecią zewnętrzną analizuje dane pozyskane od Planisty oraz od zewnętrznych dostawców energii elektrycznej, w celu określenia, ile energii powinno być dokupione oraz w jakim okresie.

Na rysunku 2.3 zostały schematycznie wydzielone bazy danych oraz oznaczono strzałkami kierunek przepływu informacji między poszczególnymi elementami. Połączenia bez określonego kierunku reprezentują komunikację dwukierunkową.

Komunikacja między systemem wprowadzania zadań a Planistą przebiega przez bazę zadań, gdzie oba systemy mają możliwość edytować dane zadania i zmieniać jego czas rozpoczęcia i długość trwania.

# Rozdział 6

## Podsumowanie

Dokument ten zarysowuje architekturę systemów do projektu komputerowego zarządzania energią w ośrodku badawczo-szkoleniowym z rozproszonymi źródłami energii i zmiennym zapotrzebowaniem energetycznym na eksperymenty badawcze. Celem całego projektu jest sprawdzenie, na ile wiedza na temat zużycia i produkcji energii może pomóc w redukcji kosztów działania wirtualnego ośrodka badawczo-szkoleniowego. Największym wyzwaniem projektu jest zaprojektowanie systemów w sposób możliwie jak najbardziej skalowalny, aby możliwe było rozszerzenie jego funkcjonalności w przyszłości.

Projekt jest podzielony na wiele systemów ze względu na różnorodność tematów badawczych i podejścia do ich rozwiązania. Tematyka projektu jest szeroka i dotyczy kilku problemów, m.in. szeregowania zadań, wydajnej komunikacji w systemie wieloagentowym, modelowania sieci i urządzeń fizycznych. Każdy z tych elementów wymaga innego zasobu wiedzy i innego podejścia metodologicznego. Problemy szeregowania są problemami NP-zupełnymi, więc wymagają rozwiązań wykorzystujących metaheurystyki i przybliżenia w celu otrzymania wystarczająco dobrego rozwiązania w rozsądnym czasie. Problem bilansowania energii elektrycznej wymaga podejścia dynamicznego i wydajnej metody negocjacji warunków zakupu lub sprzedaży, co jak pokazano w [4] jest dobrze realizowalne przy pomocy agentów programowych.

Najistotniejszym elementem pracy będzie połączenie tych systemów w jeden działający organizm i umożliwienie wymiany wyników obliczeń w sposób szybki i wydajny, tak aby wszystkie założone cele mogły być zrealizowane. Integracja będzie realizowana głównie na poziomie danych i komunikacji. Wymiana danych będzie realizowana przez wymianę plików, działanie na wspólnej bazie danych oraz przez bardziej zaawansowane interfejsy i usługi

sieciowe. Dokładny zakres danych i projekty baz będą przedstawione w kolejnych opracowaniach wraz z rozwojem projektu.

Na obecnym etapie nie definiuje się interfejsu użytkownika, gdyż jest to element nie wpływający na realizację symulacji, a istotniejsze jest uzyskanie danych na temat działania systemu w formie przystępnej do dalszych analiz. Zakłada się, że rolę tego interfejsu będzie spełniał Monitor, który będzie zbierał dane od wszystkich systemów i publikował raporty z działania urządzeń.

Moduł handlu z siecią zewnętrzną jest silnie zależny od rynku energii, ograniczeń i wymogów prawnych, dlatego też przy jego realizacji zakładamy, że istnieją podstawy prawne i ekonomiczne do przeprowadzenia handlu energią na tak niewielką skalę jak będzie to wymagane w ośrodku (wolumen od kilkudziesięciu kilowatów).

Obecnie pomija się problem podłączenia systemu do fizycznych urządzeń – ich rolę pełnią modele matematyczne. Jednakże w przypadku, gdy projekt przedstawi obiecujące wyniki, rozważa się możliwość podłączenia do systemu rzeczywistych, fizycznych urządzeń i sprawdzenie wyników symulacji.

Jeżeli w projekcie zostanie pokazane, że przy użyciu opisanego systemu można zwiększyć wydajność i zmniejszyć koszty zapewnienia energii ośrodkowi, projekt przyczyni się do rozwoju mikroźródeł oraz systemów typu smart grid (więcej o tym temacie w [2]). Ośrodek składający się z kilku budynków wymaga dużo mniej energii elektrycznej i w przypadku wyposażenia go we własne źródła, może być energopozytywny (ma charakter prosumencki). Warto podkreślić, że założone w projekcie źródła energii są dostępne na rynku.

Idea samowystarczalnych obiektów jest szczególnie atrakcyjna dla zachowania bezpieczeństwa energetycznego. Jest to szczególnie ważne w momencie wprowadzania limitów na emisję gazów cieplarnianych i prognozowanego wzrostu cen energii elektrycznej.

## Bibliografia

- [1] D. Baczyński, P. Piotrowski, and J. Wasilewski. Opracowanie projektu sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia oraz fragmentów instalacji elektrycznych w poszczególnych obiektach ośrodka badawczo-szkoleniowego, łącznie z określeniem odbiorów energii elektrycznej oraz doбором rozproszonych źródeł energii elektrycznej (turbin wiatrowych, baterii fotowoltaicznych, turbin wodnych, silników tłokowych), a także zasobników energii elektrycznej (np. baterii akumulatorów) – Etap II. Technical report, Instytut Badań Systemowych PAN, 2011.
- [2] K. P. Birman, Li Ganesh, and R. van Renesse. Running smart grid control software on cloud computing architectures. In *Proceedings of the Computational Needs for the Next Generation Electric Grid*, pages 1–35, Washington, DC, USA, 2011.
- [3] D. Booth, H. Haas, F. McCabe, E. Newcomer, M. Champion, C. Ferris, and D. Orchard. *Web Services Architecture*. Number 11 in W3C Working Group Note. February 2004.
- [4] R. K. Dash, N. R. Jennings, and D. C. Parkes. Computational-mechanism design: A call to arms. *IEEE Intelligent Systems*, pages 40–47, November 2003. Special Issue on Agents and Markets.
- [5] D. Kowalska, M. Parol, J. Wasilewski, and T. Wójtowicz. Zadanie pt. Opracowanie modeli matematycznych sieci elektroenergetycznych, instalacji elektrycznych oraz instalacji (sieci) ciepłych, a także komputerowych modeli fizycznych i ekonomicznych: odbiorów energii elektrycznej, odbiorów ciepła, rozproszonych źródeł energii elektrycznej i ciepła, zasobników energii elektrycznej i ciepła w ośrodku badawczo-szkoleniowym. Technical report, Instytut Badań Systemowych PAN, 2011.

- [6] Z. Nahorski, P. Pałka, W. Radziszewska, and J. Stańczak. Założenia dla systemu wieloagentowego do bieżącego bilansowania energii generowanej i pobieranej. Technical Report RB/61/2011, Instytut Badań Systemowych PAN, 2011.
- [7] Z. Nahorski and W. Radziszewska. Inteligentne systemy bilansowania mocy w mikrosieciach elektroenergetycznych. Technical Report RB/72/2011, Instytut Badań Systemowych PAN, 2011.
- [8] M. Parol, J. Wasilewski, and T. Wójtowicz. Zadanie pt. Opracowanie projektu sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia oraz fragmentów instalacji elektrycznych w poszczególnych obiektach ośrodka badawczo-szkoleniowego, łącznie z określeniem odbiorów energii elektrycznej oraz doбором rozproszonych źródeł energii elektrycznej (turbin wiatrowych, baterii fotowoltaicznych, turbin wodnych, silników tłokowych), a także zasobników energii elektrycznej (np. baterii akumulatorów) – Etap I. Technical report, Instytut Badań Systemowych PAN, 2010.
- [9] M.I Woolridge. *Introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2001.



