

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

1	Wstęp	5
1.1	Informacja o projekcie	5
1.2	Cele projektu	8
2	Warstwy i podział projektu	9
2.1	Warstwa fizyczna	11
2.1.1	Model sieci ciepłej	11
2.1.2	Model sieci elektrycznej	12
2.2	Warstwa logiczna	12
3	Wyróżnione systemy	17
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
4	Wyróżnione zbiory danych	23
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
5	Komunikacja między systemami	27

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 odchyłek 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 4

Wyróżnione zbiory danych

Ze względu na złożoność projektu nie zakłada się istnienia zcentralizowanej bazy danych. Z tego względu wprowadzono rolę monitora, który będzie zbierać istotne parametry wszystkich systemów i tworzyć ogólne zestawienia. Szczegółowe dane przetwarzane przez każdy podsystem będą udostępniane oddzielnie. Ułatwi to projektowanie systemów pozwalając na swobodne przetwarzanie danych, bez konieczności ograniczania przetwarzanych danych do minimum w celu osiągnięcia większej wydajności. Ułatwi to testowanie i weryfikację algorytmów tworzonych dla celów projektu oraz ułatwi osadzenie projektów w środowisku rozproszonym.

W tym rozdziale zostaną krótko omówione dane, które będą przetwarzane przez systemy.

4.1 Parametry pracy urządzeń

Każde urządzenie jest charakteryzowane przez zbiór parametrów, które są wykorzystywane przez system bilansowania krótkoterminowego, model sieci elektrycznej oraz modele urządzeń. Podstawowymi parametrami urządzeń są (scharakteryzowane w [7]):

- moc – w przypadku źródła jest to wielkość maksymalnej generacji w [W], jest to wielkość nieujemna, przyjmuje się w projekcie, że moc możliwa do pobrania z sieci zewnętrznej jest nieskończona;
- pojemność – ilość energii, którą może dostarczyć źródło, w [Wh], wielkość dodatnia;

- warunki produkcji mocy – określone warunki otoczenia wpływające na wielkość produkcji, na przykład prędkość wiatru, nasłonecznienie;
- sprawność – stosunek mocy wyjściowej do mocy na wejściu (elektrycznej lub mechanicznej), w % (do 100%) lub bezwymiarowy (do 1);
- koszt produkowanej energii – składający się z dwóch części: amortyzacji urządzenia i kosztu paliwa; dla źródeł korzystających z energii naturalnej (np. wiatr, promieniowanie słoneczne) koszt paliwa może być zerowy;
- odwracalność – możliwość zwrotu energii do sieci, na przykład podczas hamowania silnika;
- moc ładowania – największa moc, jaką może absorbować zasobnik, w [W];
- moc pobierana – największa moc, jaką można pobierać z zasobnika, w [W];
- pojemność – największa ilość energii, jaką można zgromadzić w zasobniku, w [Wh];
- stan naładowania – jest wskaźnikiem bieżącego naładowania zasobnika, w % (do 100%) lub bezwymiarowy (do 1);

Dodatkowo system przechowuje dane dotyczące modelu, rodzaju i producenta urządzenia.

4.2 Dane o zadaniach i uszeregowaniu zadań

Zadanie, to każdy planowany do przeprowadzenia w ośrodku eksperyment badawczy, każde organizowane spotkanie i każdy przydział zasobów, na przykład sal lub komputerów. Każde zadanie wiąże się ze zmianą bilansu energetycznego ośrodka (niektóre zadania wykorzystują energię w większym stopniu niż inne) i musi być zaplanowane do wykonania z uwzględnieniem specyficznych ograniczeń. Każde zadanie charakteryzuje się pewnym zbiorem parametrów lub ograniczeń (takich jak na przykład najwcześniejszy moment rozpoczęcia, czas jego trwania, itp.), które mogą mieć charakter niepewny (rozmyty). Zadania są rejestrowane przez system rejestracji zadań.

Procesor to ogólne określenie jednostki wykonującej zadanie, może to być w szczególności stanowisko w laboratorium, sala, komputer, itp.

Zadanie ma określone pewne parametry pozwalające na stworzenie realnego planu:

- minimalna liczba procesorów danej kategorii potrzebna do wykonania zadania,
- maksymalna liczba procesorów danej kategorii, na której może być wykonane zadanie w sposób równoległy,
- termin dostępności zadania,
- czas trwania zadania,
- nieprzekraczalny termin wykonania zadania.

Procesor charakteryzuje się parametrami, takimi jak kategoria (rodzaj), gdyż w większości przypadków zadania będą wymagały określonego, dedykowanego procesora. Głównym parametrem procesorów jest zapotrzebowanie energetyczne. Określa ono, ile energii wymaga procesor na określoną jednostkę czasu.

Wyjściem systemu szeregowania zadań będzie plan określający czas wykonania zadania i jakie zasoby są do tego przydzielone.

4.3 Dane o niezbilansowaniu

System krótkoterminowego bilansowania energii operuje na dostępnej informacji na temat chwilowego niezbilansowania. Dane te uwzględniają odchylenie od zrównoważonego stanu każdego urządzenia. Informacja o niezbilansowaniu musi zawierać:

- wielkość niezbilansowania,
- kierunek niezbilansowania – czy energii jest za dużo, czy za mało,
- czas wystąpienia,
- źródło ewentualnego pokrycia zbilansowania.

4.4 Prognozy

Prognozy będą tworzone w różnych horyzontach czasowych. Będą to prognozy kilku rodzajów:

- prognozy pogody długoterminowe (dobowe do trzydniowych),
- prognozy pogody krótkoterminowe (w horyzoncie 5 do 15 minut),
- prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną (ultrakrótkie, dobowe, tygodniowe i roczne),
- prognozy zapotrzebowania na ciepło (ultrakrótkie, dobowe, tygodniowe i roczne),
- prognozy produkcji energii elektrycznej w rozproszonych źródłach energii (ultrakrótkie, dobowe, tygodniowe i roczne),
- prognozy produkcji ciepła w rozproszonych źródłach energii (ultrakrótkie, dobowe, tygodniowe i roczne).

Prognozy będą zawierać dane numeryczne dotyczące prognozowanej wartości oraz wielkość błędu predykcji w horyzoncie czasowym, dla którego zostały utworzone.

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.

