

International Ukraine-Poland Seminar

Power quality in distribution networks with distributed generation

Kiev, July 4-5, 2019

DOI: 10.32073/iepl.2019.02

**INNOWACYJNE TECHNOLOGIE WDROŻONE
W LABORATORIUM GENERACJI ROZPROSZONEJ W INSTYTUCIE
ELEKTROENERGETYKI POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ**

Paweł KELM, Ryszard PAWEŁEK, Irena WASIAK, Rozmysław MIENSKI

Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki

Abstract: This paper illustrates the development of the Laboratory of Distributed Generation in the Institute of Electrical Power Engineering of the Technical University of Lodz. Selected unique laboratory equipment is presented for modeling, construction, monitoring and testing of micro power systems, including: controllable and uncontrollable energy sources, real time digital simulator - RTDS connected to multifunction amplifier - Netwave, SCADA and Central SCADA systems and kinetic energy storage system – Flywheel.

1. WSTĘP

W ciągu ostatnich kilku lat, w całej Europie, można zaobserwować rozwój rozproszonych źródeł energii, o stosunkowo małej mocy przyłączanych, do sieci niskiego i średniego napięcia. Intensywny rozwój niesterowalnych, odnawialnych źródeł energii (wspierany proekologicznymi działaniami Unii Europejskiej) wymaga głębszego rozpatrzenia i analizy, gdyż może znacznie wpłynąć na bezpieczeństwo i niezawodność sieci dystrybucyjnej [1, 2].

Sieć dystrybucyjna, która integruje rozproszone źródła energii, zasobniki energii, sterowalne i niesterowalne odbiory, dodatkowe opcjonalne urządzenia do kompensacji, zmienia swój charakter z pasywnej (odbiorczej) na aktywną. Sieć aktywna, która realizuje procesy generacji, dystrybucji i użytkowania tworzy mikrosystem elektroenergetyczny.

Technologie wykorzystywane w mikrosystemach obejmują m.in. źródła i zasobniki energii, dodatkowe urządzenia kompensacyjne typu „custom power” oraz układy zabezpieczeń, telekomunikacji i sterowania. Źródła o zmiennej mocy generowanej narzucają potrzebę stosowania urządzeń do magazynowania energii, które wspomagają ich pracę oraz biorą udział w bilansowaniu energii. Urządzenia typu „custom power” poprawiają niezawodność zasilania i stabilność systemu oraz zapewniają wymaganą jakość energii elektrycznej. Sieć jest monitorowana online i nadzorowane przez system kontroli i sterowania.

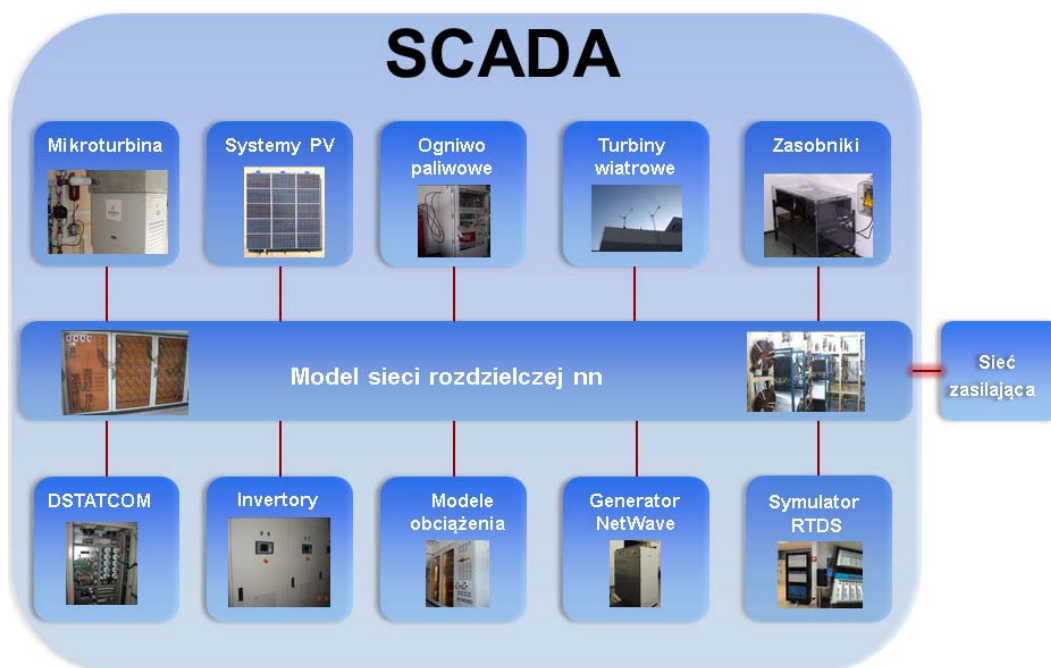
Instytut Elektroenergetyki od wielu lat prowadzi badania dotyczące rozproszonego wytwarzania energii elektrycznej, w tym wykorzystania energii odnawialnych. Badania te rozpoczęto we współpracy międzynarodowej w ramach V Programu Ramowego Unii Europejskiej (projekt DISPOWER „Distributed Generation with High Penetration of Renewable Energy Sources”). Efektem tej współpracy było przystąpienie Instytutu do Sieci Doskonałości DERLab „Network of DER Laboratories and Pre-Standardisation” w VI Programie Ramowym UE [3]. W celu dostosowania się do wymagań obowiązujących partnerów Sieci Doskonałości DERLab, w Instytucie Elektroenergetyki utworzono Laboratorium Generacji Rozproszonej [2,3,4].

Dalszy rozwój laboratorium w dziedzinie rozproszonych źródeł energii realizowany był w ramach VII Programu Ramowego Unii Europejskiej (projekt DERri „Distributed Energy Research Resources”). Celem programu DERri była dalsza integracja europejskich jednostek badawczych zajmujących się energetyką rozproszoną.

2. INFRASTRUKTURA TECHNICZNA LABORATORIUM

2.1. Wprowadzenie

Ogólna struktura Laboratorium Generacji Rozproszonej została przedstawiona na rysunku 1.



Rys.1. Struktura funkcjonalna Laboratorium Generacji Rozproszonej

Wyposażenie laboratorium można podzielić na następujące grupy urządzeń:

- odnawialne źródła energii,
- źródła energii wykorzystujące paliwa tradycyjne,
- dodatkowe urządzenia wspierające pracę mikrosystemu,
- cyfrowy symulator czasu rzeczywistego z wielofunkcyjnym wzmacniaczem Netwave,
- zasobniki energii.

Wszystkie źródła energii, odbiory, zasobniki energii przyłączone są w laboratorium poprzez indywidualne pola w rozdzielniach RG1 i RG2 (rys. 2). Każde pole rozdzielni wyposażone jest między innymi w transduktory firmy LEM „napięcie/napięcie” oraz „prąd/napięcie”, analizator jakości energii, układy PowerDNA i telemekhaniki oraz aparaturę łączeniową z opcją zdalnego sterowania. Osiągnięto w ten sposób możliwość pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej w każdym polu oraz zdolność budowy i elastycznej konfiguracji badanych mikrosystemów.



Rys. 2. Rozdzielnice RG1 i RG2 w Laboratorium Generacji Rozproszonej

2.2. Odnawialne źródła energii

Grupę urządzeń wytwórczych wykorzystujących energię odnawialną słońca i wiatru stanowią:

- system fotowoltaiczny stacjonarny zbudowany z paneli fotowoltaicznych o mocy 6,0 kWp przyłączony do sieci niskiego napięcia za pomocą zestawu złożonego z trzech jednofazowych przetworników Sunny Boy 2500,
- system fotowoltaiczny nadążny, zbudowany z paneli fotowoltaicznych o mocy 9,0 kWp przyłączony do sieci niskiego napięcia za pośrednictwem zestawu trzech jednofazowych przetworników Sunny Boy 3300,
- stanowisko elektrowni wiatrowych składające się z dwóch trójfazowych generatorów z magnesami stałymi o mocy 5,8 kW każdy, umocowanych na masztach o wysokości 12 m połączonych z siecią elektroenergetyczną za pośrednictwem dwóch zestawów (po 3 szt.) jednofazowych przekształtników typu Windy Boy WB 1700.

Wybrane urządzenia z grupy odnawialnych źródeł energii pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Odnawialne źródła energii w Laboratorium Generacji Rozproszonej

2.3. Mikroturbina gazowa

Podstawowym źródłem energii wykorzystującym paliwo energetyczne (gaz ziemny) jest mikroturbina gazowa typu C30 amerykańskiej firmy Capstone o mocy elektrycznej 30 kW i cieplnej 60 kW. Przyłączona do infrastruktury technicznej kompleksu budynków Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej mikroturbina pracuje w kogeneracji wytwarzając energię elektryczną i ciepło. Poprawia w ten sposób efektywność energetyczną ww. kompleksu budynków.

Mikroturbina może pracować połączona z siecią elektroenergetyczną wytwarzając zadaną moc czynną albo jako źródło autonomiczne zasilające wydzieloną sieć z przyłączonymi odbiorami.

Typowym sposobem pracy mikroturbiny jest tryb podwójny (Dual mode), w którym charakter pracy mikroturbiny zależy od dostępności zasilania z sieci.



Rys. 4. Mikroturbina gazowa

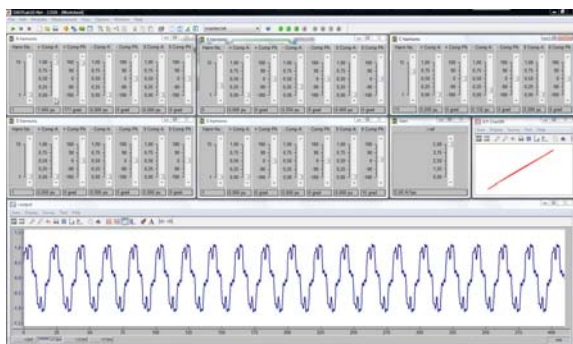
2.4. System SCADA i Central SCADA

W Laboratorium Generacji Rozproszonej uruchomiono kilka niezależnych systemów komputerowych umożliwiających zbieranie aktualnych danych, ich wizualizację i archiwizację oraz sterowanie pracą urządzeń.

Pierwszy z systemów [5] został zbudowany w oparciu o standardowe komputery PC oraz kości PowerDNA [6] wykorzystując oprogramowanie Daisylab firmy National Instruments [7]. Moduły systemu PowerDNA, zainstalowane bezpośrednio przy każdym urządzeniu, wyposażono w niezbędny zestaw kart wejść i wyjść analogowych oraz zestaw kart wejść i wyjść binarnych, które wraz z procesorem modułu i odpowiednim oprogramowaniem umożliwiają monitorowanie i sterowanie pracą urządzenia (np. sterowanie PWM falownika i monitoring, rys. 5).

W 2013 roku wdrożono przemysłowy system SCADA PRINS firmy BTC [8]. Opiera się on na rozwiązaniu rozproszonym bazującym na stacyjnej sieci Ethernet o architekturze typu STAR. W warstwie komunikacyjnej wykorzystano protokół zgodny z międzynarodowym standardem IEC 60870-5-104, powszechnie stosowany w energetyce. Uzyskano w ten sposób pełne rozproszenie systemu oraz możliwość jego rozbudowy w przyszłości.

Do telemechanizacji rozdzielni głównej (RG1 oraz RG2) wybrano system automatyki rozproszonej ME4012PA-N firmy Mauell GmbH. Zastosowane w nim sterowniki NANO to skalowalne urządzenia bazujące na karcie procesorze wyposażonym w interfejs Ethernet (IEC -104). W każdym polu rozdzielni, ww. sterowniki są odpowiedzialne za zbieranie danych binarnych jak i wykonywanie sterowań. Ponadto doposażając każde pole w niezależny analizator sieciowy (LUMEL N14) uzyskano możliwość pełnego pomiaru prądów, napięć, mocy, częstotliwości, itd. z jednoczesną wizualizacją zmierzonych wartości w każdym polu. Stanowisko operatora systemu przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Okno programu sterującego inwertorem PWM

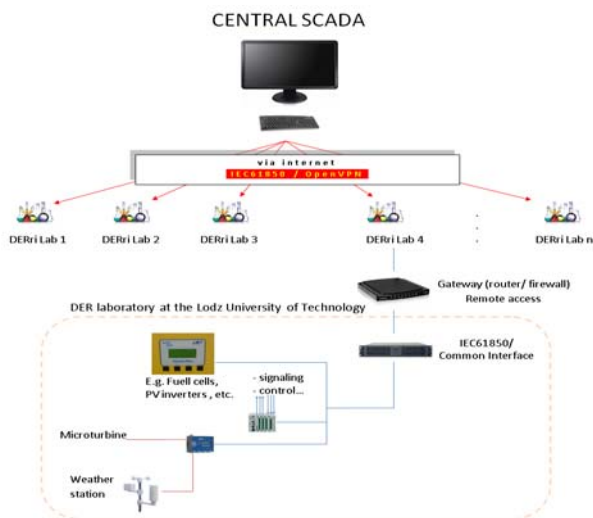


Rys. 6. SCADA BTC Prins stanowisko operatora

Kolejnym systemem typu SCADA, zaimplementowanym w Laboratorium Generacji Rozproszonej jest CENTRAL SCADA. System działa niezależnie od przedstawionych wcześniej. Powstał na potrzeby projektu DERri i umożliwia integrację laboratoriów europejskich partnerów projektu. W systemie można wyróżnić dwa główne składniki:

- CENTRAL SCADA - niezależny system typu klient służący do monitorowania, sterowania i wizualizacji danych udostępnianych przez laboratoria partnerów DERri,
- serwer/bramka (Jander Gateway) - interfejs instalowany u każdego z partnerów DERri. Został stworzony na potrzeby projektu w celu umożliwiania wymiany danych między laboratoriami. Wykorzystuje standard IEC61850.

Podobnie jak SCADA, system CENTRAL SCADA jest oparty na rozwiązaniu BTC Prins i posiada wszystkie cechy klasycznego systemu SCADA. Posiada jednak dodatkową, unikalną funkcjonalność polegającą na możliwości połączenia online z laboratoriami znajdującymi się w różnych państwach Europy (integruje różne laboratoria w jednym systemie). Jednostką centralną systemu CENTRAL SCADA BTC Prins jest standardowy laptop PC



Rys. 7. Architektura systemu CENTRAL SCADA

Aplikacja Prins działa jako samodzielny i niezależny system (nie ma potrzeby podłączenia do dodatkowych serwerów danych itp.). Schemat ideowy systemu został przedstawia rysunek 7. Dzięki mobilności komputera, niezależnie od jego bieżącej lokalizacji, możliwe jest nawiązanie połączenia z laboratoriami partnerów DERri i monitoring w czasie rzeczywistym oraz archiwizację udostępnianych przez nie danych (np. napięcia i prądy paneli PV, stany łączników, moce obciążeń, itp.). System CENTRAL SCADA umożliwia sterowanie urządzeniami w udostępnionych laboratoriach jednak, ze względów bezpieczeństwa, ta funkcja nie jest obecnie wykorzystywana.

2.5. Cyfrowy Symulator Czasu Rzeczywistego (RTDS)

Jednym z najnowszych urządzeń w laboratorium generacji rozproszonej jest cyfrowy symulator RTDS. Jest to system czasu rzeczywistego przeznaczony do precyzyjnego modelowania i analizy zjawisk przejściowych w sieciach elektroenergetycznych.

Mimo, że symulator RTDS został początkowo zaprojektowany do badania elektroenergetycznej aparatury zabezpieczeniowej w tzw. pętli zamkniętej (Power Hardware in the Loop - PHIL) [9], istnieje wiele innych obszarów, w których może być wykorzystywany, między innymi do:

- symulacji pracy układów sieci elektroenergetycznej w czasie rzeczywistym,
- modelowania układów energoelektronicznych (m.in. HVDC, SVC, TCSC),
- budowy, w pełni konfigurowalnej, podsieci zawierającej elementy VSC, transformatory, linie przesyłowe, kable, wyłączniki, filtry, itp.
- symulacji stanów przejściowych w systemach elektroenergetycznych,
- symulacji i testów, typu Hardware-In-the-Loop (HIL), zabezpieczeń i układów automatyki w czasie rzeczywistym,
- modelowania rozbudowanych obwodów i układów automatyki oraz układów energoelektronicznych wykorzystywanych w systemach PV, STATCOM, HVDC, itp.
- przeprowadzanie badań przekaźników ochronnych takich producentów jak ABB, Alstom Grid, GE, Nari, Relay, Siemens, SEL, Toshiba czy Zi.
- zapewnienie dostępności komponentów I/O do badań tradycyjnych przekaźników oraz układów wykorzystujących protokoły IEC 61850 GOOSE, GSE oraz IEC 61850-9-2.



Rys. 8. Cyfrowy symulator RTDS oraz wzmacniacz NetWave

Symulator RTDS zainstalowany w Laboratorium Generacji Rozproszonej Instytutu Elektroenergetyki współpracuje z wielofunkcyjnym generatorem NetWave firmy Emtest o mocy 60 kVA (rys. 6). Osiągnięto w ten sposób unikalną funkcjonalność polegającą m.in. na możliwości sprzężenia symulowanego układu lub elementów systemu elektroenergetycznego, z rzeczywistymi urządzeniami tj.: aparaturą zabezpieczeniową, zasobnikami energii, źródłami odnawialnymi, itp.

Warto podkreślić, że symulator czasu rzeczywistego kanadyjskiej firmy RTDS Technologies jest jedynym tego typu urządzeniem w Polsce.

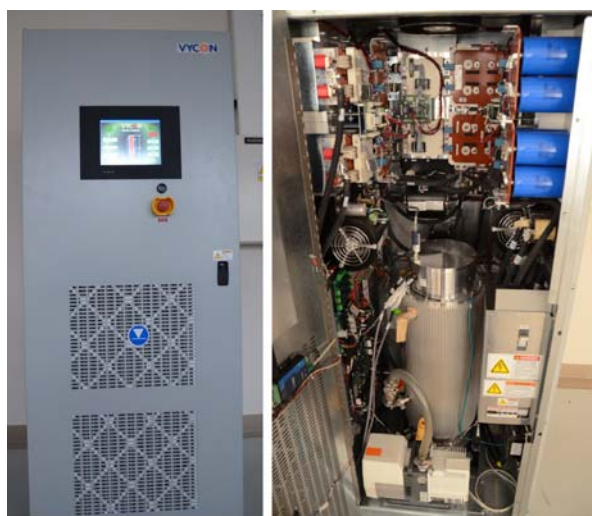
2.6. Zasobniki energii

Obecnie w Laboratorium Generacji Rozproszonej zainstalowano dwa systemy magazynowania energii. Jednocześnie trwają prace nad wdrożeniem kolejnych, wykorzystujących najnowsze technologie magazynowania energii.

Pierwszy zasobnik z akumulatorami AGM o pojemności 10 kWh, przyłączony jest do sieci elektroenergetycznej laboratorium poprzez trzy inwerty SMA Sunny Island 4500. Zastosowane inwerty umożliwiają automatyczną zmianę trybu pracy zasobnika z prądowego na napięciowy (zasobnik może pełnić funkcję źródła referencyjnego napięcia w wydzielonej sieci wyspowej).

Kolejny to system zasilania gwarantowanego (UPS) o mocy 160 kVA firmy Socomec. Zainstalowano w nim dwa zasobniki różniące się technologią magazynowania energii, tj.:

- szybkoobrotowe koło zamachowe (flywheel) amerykańskiej firmy Vycon (rys. 9) - zasobnik flywheel może dostarczyć maksymalnie 350 kW w ciągu 7 s [10].
- bateria akumulatorów typu VRLA AGM o pojemności 50 kWh.



Rys. 9. Koło wirujące – Flywheel o mocy 350 kW

Bateria akumulatorów oraz koło zamachowe są przyłączone równolegle do tej samej szyny DC systemu UPS.

Zainstalowany w laboratorium układ pozwolił połączyć zalety obu typów zasobników. W trakcie krótkich i częstych przerw w zasilaniu, energia pobierana jest z koła zamachowego Flywheel (liczba cykli rozładowania i ładowania nie wpływa na trwałość zasobnika). Po rozładowania zasobnika kinetycznego energia pobierana jest z baterii akumulatorów. Podniesiono w ten sposób pewność zasilania rezerwowanych odbiorów wydłużając jednocześnie czas eksploatacji całego układu.

Wybrane cechy wyróżniające kinetyczny zasobnik energii [10]:

- okres eksploatacji zasobnika 20 lat, niezależny od liczby cykli ładowania i rozładowania,
- wysoka sprawność > 99 %,
- łatwy do określenia poziom naładowania zasobnika wynikający z prędkości obrotowej koła zamachowego,
- czas do pełnego naładowania poniżej 12 minut,
- odporność na warunki atmosferyczne (w szczególności na zmiany temperatury),
- mała powierzchnia < 0,5 m²,

W celu minimalizacji strat w komorze zasobnika zastosowano próżnię oraz łożyska magnetyczne. W pełni naładowany zasobnik wiruje z prędkością 37 tys. obr./min.

W Laboratorium Generacji Rozproszonej zainstalowane są ponadto zasobniki energii wykorzystujące superkondensatory oraz wodór (zasobnik wodorowy jest wyposażony w generator wodoru, zbiorniki oraz ogniwo wodorowe).

3. PODSUMOWANIE

Wzrost penetracji generacji rozproszonej powoduje zmianę charakteru i warunków pracy sieci dystrybucyjnych i prowadzi do powstania mikrosystemów elektroenergetycznych. Ich rozwój wymaga jednak rozwiązania wielu problemów związanych np. z integracją źródeł i zasobników energii z siecią zasilającą oraz odpowiednim sterowaniem pracą tych urządzeń. Istnieje zatem konieczność prowadzenia prac badawczych w tym zakresie oraz stworzenia odpowiedniej infrastruktury laboratoryjnej. Prezentowane w artykule Laboratorium Generacji Rozproszonej w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej umożliwia prowadzenie badań na najwyższym europejskim poziomie.

Warto podkreślić m.in. możliwość wykonywania testów typu Power Hardware in the Loop wykorzystując symulator czasu rzeczywistego RTDS oraz wzmacniacz mocy NetWave. Badania wykonywane z użyciem tych urządzeń stanowią jedną z ważniejszych, unikalnych usług oferowanych przez Instytut Elektroenergetyki.

Prezentowane w artykule działania polegające, między innymi, na rozwoju infrastruktury laboratoryjnej oraz uczestnictwie w międzynarodowych projektach europejskich (takich jak DERlab lub Derri) umożliwiają Laboratorium Generacji Rozproszonej utrzymać silną pozycję centrum naukowego i badawczego na najwyższym światowym poziomie.

4. LITERATURA

1. Wasiak I.: Inteligentne mikrosystemy elektroenergetyczne. VI Międzynarodowe seminarium polsko-ukraińskie. Łódź, 16-16.09.2010
2. Mieński R., Pawełek R., Gburczyk P., Wasiak I., DER Laboratory in Institute of Electrical Power Engineering of Technical University of Lodz. Proceedings of the 6th International Scientific and Technical Conference on Efficiency and Power Quality of Electrical Supply of Industrial Enterprises, Mariupol (Ukraine), 21-23.05.2008
3. Mieński R., Pawełek R., Gburczyk P., Wasiak I., Degner T.: DER Laboratory in Institute of Electrical Power Engineering of Technical University of Lodz. IEEE 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Wollongong (NSW), Australia September 28 – October 1, 2008

4. Mieński R., Pawełek R., Gburczyk P., Wasiak I., Degner T.: Research Facility of Technical University of Lodz – a Powerful Tool for Microgrids Analysis. 5th International Conference on Power Systems, Control, Quality and Efficiency of Utilisation, Blagoveschensk, Rosja October 24-26, 2008
5. Mieński R., Pawełek R., Wasiak I., Gburczyk P.: Monitoring and Control Systems for Testing Microgrids Operation on the Example of Laboratory of Distributed Generation at the Technical University of Lodz. 10th IEEE International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Lodz, Poland, September 15 – 17, 2009
6. United Electronic Industry. Synchronization and Screw Terminal Panel. User Manual. Accessory Panel for PowerDNA Cube (DNA) and PowerDNR (DNR) RACKtangle Systems. April 2008 Edition.
7. National Instruments. DASyLab. Data Acquisition System Laboratory. Data Acquisition, Controlling, and Monitoring. User Manual. November 2007
8. BTC Prins, Architektura system SCADA, marzec 2011
9. RTDS Technologies Inc., Technical Specification, lipiec 2012
10. VYCON, Inc. VYCON DIRECT CONNECT VDC and VDC XE User manual, 2009

dr inż. Paweł Kelm

Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź
pawel.kelm@p.lodz.pl

dr inż. Ryszard Pawełek

Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź
ryszard.pawelek@p.lodz.pl

prof. dr hab. inż. Irena Wasiak

Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź
irena.wasiak@p.lodz.pl

dr inż. Rozmysław Mieński

Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź
rozmyslaw.mieński@p.lodz.pl

