

## „Rozproszony system monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej z zastosowaniem technologii LonWorks i komunikacji radiowej”

*Streszczenie: W pracy zaprezentowano nową koncepcję rozproszonego systemu monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej opracowaną w ISS. W systemie zastosowano jednolity standard komunikacyjny na bazie technologii LonWorks. Komunikacja między stacjami odbywa się drogą radiową. Ze względu na zastosowanie standardowych rozwiązań, system cechuje otwartość umożliwiającą łatwe wprowadzanie zmian i rozbudowę systemu.*

### Distributed Monitoring and Control System for Heat Pipelines with the Use of LonWorks Technology and Radio Communication

*Abstract: The paper presents a new concept of the distributed monitoring and control system for heat pipelines. In the system the unified communication standard on the base of LonWorks technology is applied. Between the stations the radio communication is used. Due to the use of standard solutions the system by openness is characterised. It permits easy changes and development.*

#### 1. WPROWADZENIE

W celu uzyskania optymalnych wskaźników ekonomicznych, eksploatacja sieci ciepłowniczej wymaga ciągłej kontroli i sterowania parametrów przesyłanego medium energetycznego. Dystrybucja energii ciepłej tworzy system rozproszony obejmujący zwykle znaczny obszar terenu. Energia ciepła przekazywana jest do użytkowników poprzez wymiennikowe węzły ciepłownicze rozmieszczone w różnych punktach sieci ciepłowniczej. Monitorowanie i sterowanie sieci ciepłowniczej polega zwykle na zbieraniu danych pomiarowych przez układy automatyki w węzłach ciepłowniczych i przesyłaniu tych danych do stacji dyspozytorskiej. Do stacji dyspozytorskiej przesyłane są również dane z samej ciepłowni. Na bazie dostarczanej informacji ze stacji dyspozytorskiej można wysyłać sygnały sterujące do układów wykonawczych w węzłach ciepłych sieci wpływając na parametry przesyłanego medium energetycznego. Układy automatyki w węzłach ciepłych oraz w wybranych innych miejscach sieci ciepłowniczej stanowią tzw. stacje zdalne, które wraz ze stacją dyspozytorską i środkami komunikacji tworzą rozproszony system zdalnego monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej.

Stacje zdalne zbudowane są na bazie sterowników programowalnych, które zbierają dane pomiarowe i wypracowują sygnały sterujące dla nastaw zaworów w instalacji wymienników.

Stację dyspozytorską stanowi zwykle jeden lub kilka komputerów typu PC z oprogramowaniem aplikacyjnym o rozbudowanych możliwościach wizualizacji i archiwizowania danych. Komunikacja ze stacjami zdalnymi realizowana jest za pomocą różnych mediów transmisji w zależności od konkretnych warunków terenowych.

Ponieważ komutowane łącza telekomunikacyjne zwykle nie spełniają stawianych im wymagań, jako medium transmisji wykorzystywane są dedykowane połączenia kablowe lub łączność radiowa.

W wielu systemach stosowane są własne specjalne protokoły transmisji typu master-slave, ale najczęściej stosowany jest standardowy protokół Modbus, który również zapewnia transmisję typu master-slave. Stacją master jest stacja dyspozytorska, a stacje zdalne pełnią rolę stacji typu slave. Tego rodzaju komunikacja wymaga ciągłego odpytywania stacji zdalnych niezależnie czy wielkości mierzone uległy zmianie, czy nie. Przy dużej liczbie stacji, czas pomiędzy kolejnymi odczytami pomiarów z danej stacji zdalnej może być zatem zbyt długi. Komunikacja może przebiegać jedynie na żądanie stacji dyspozytorskiej, natomiast same stacje zdalne nie mogą inicjować komunikacji i nie mogą bezpośrednio komunikować się ze sobą.

Dużą wadą obecnie stosowanych systemów jest również mała elastyczność na ewentualne przyszłe zmiany i rozbudowę funkcji systemu. Na przykład, dodanie w przyszłości nowych funkcji pomiarowych w stacji zdalnej może być utrudnione, ponieważ sterowniki programowalne posiadają ograniczoną liczbę wejść i wyjść o określonych parametrach, a zastosowanie dodatkowego koncentratora danych wymagałoby rozbudowy układu interfejsu komunikacyjnego stacji zdalnej.

## **2. PRZYKŁAD REALIZACJI SYSTEMU MONITOROWANIA I STEROWANIA SIECI CIEPŁOWNICZEJ Z ZASTOSOWANIEM KOMUNIKACJI RADIOWEJ**

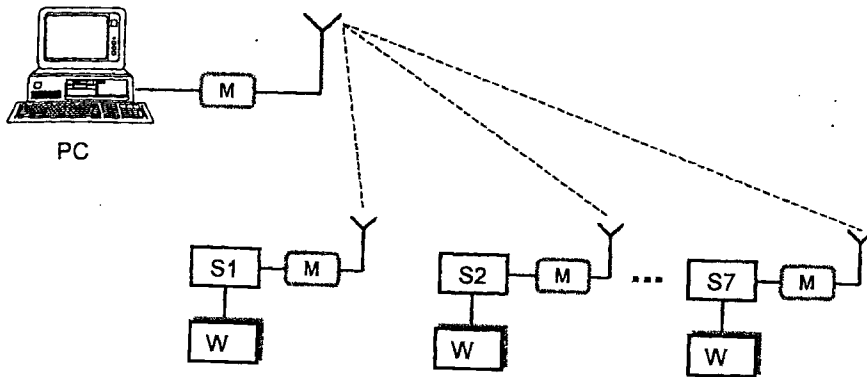
ISS opracował i wdrożył do eksploatacji system automatyzacji kotłowni oraz system monitorowania i sterowania węzłów sieci ciepłowniczej na osiedlu Bańgów w Siemianowicach Śląskich. System automatyzacji kotłowni obejmuje sześć kotłów rusztowych typu WCO-80 zasilanych miałem węglowym oraz pompy obiegowe, mieszające i uzupełniające. System automatyzacji zapewnia efektywną i bezpieczną pracę kotłowni.

System monitorowania i sterowania węzłów sieci ciepłowniczej obejmuje około 4 km magistrali ciepłowniczej wysokich parametrów z 7-ma wymiennikowymi węzłami cieplnymi. Sieć dostarcza ciepło do ok. 900 mieszkań i szkoły.

System monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej składa się ze stacji zdalnych, stacji dyspozytorskiej oraz radiowych łączy transmisyjnych (Rys.1).

Każda stacja zdalna obejmuje układy automatyki wymiennikowych węzłów cieplnych, radiomodem oraz antenę. Układy automatyki zawierają sterownik programowalny SIMATIC S5-95U, urządzenia pomiarowe oraz urządzenia wykonawcze. Do sterownika może być przyłączony panel operatorski COROS OP-15 zawierający klawiaturę i wyświetlacz. Sterownik posiada interfejs komunikacyjny połączony z modemem radiowym dla zapewnienia komunikacji ze stacją dyspozytorską. Komunikacja odbywa się zgodnie ze standardowym protokołem sieciowym Modbus. Ze względu na fakt, że największa odległość pomiędzy stacją dyspozytorską a zdalną wynosi około 3km, zastosowano radiomodemy o mocy 100 mW pracujące na częstotliwości 433.92 MHz i anteny kierunkowe, celem uniknięcia rozpraszania mocy.

Układy automatyki dla węzłów cieplnych realizują następujące funkcje: pomiar wielkości technologicznych w węzłach cieplnych (temperatura, ciśnienie, przepływ, ciepło), optymalne sterowanie urządzeniami wykonawczymi w tym regulacja pogodowa, wykrywanie stanów alarmowych, komunikacja ze stacją dyspozytorską (Rys.2).



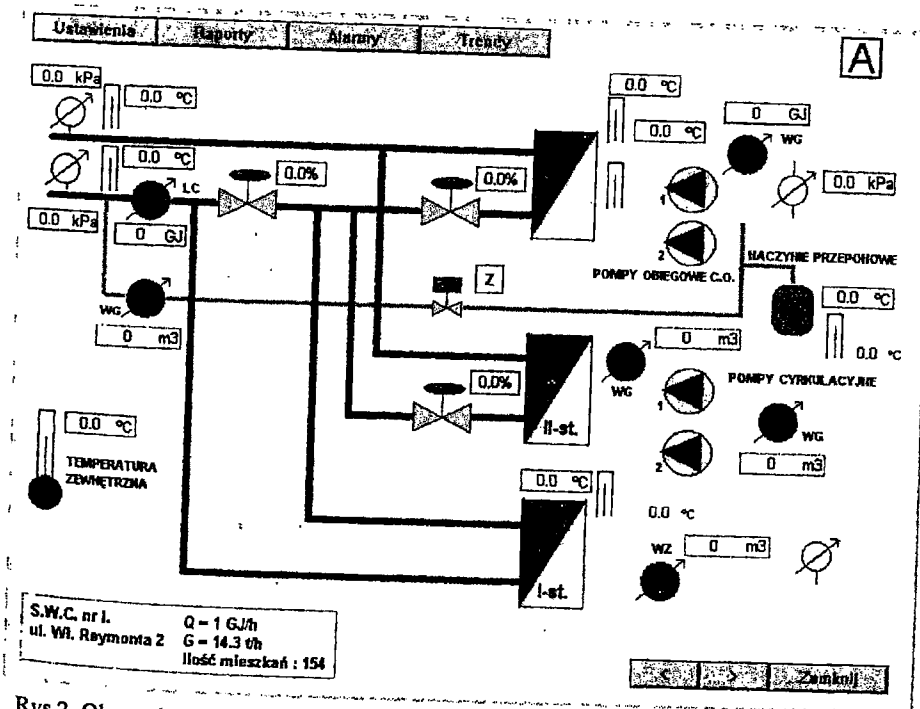
S1-S7 - sterowniki SIMATIC S5-95U

PC - komputer typu IBM PC

M - modem

W1-W7 - wymiennikowe węzły ciepłownicze

Rys.1. Struktura systemu monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej



Rys.2. Okno wizualizacyjne pracy węzła zawierające schemat instalacji w wymiennikowni.

Stację dyspozytorską stanowi komputer typu IBM PC oraz radiomodem wraz z anteną dla zapewnienia komunikacji z układami automatyki węzłów ciepłych. Oprogramowanie aplikacyjne stacji dyspozytorskiej wykonane na bazie systemu InTouch pracuje w środowisku Windows. Radiomodem przyłączony jest do komputera poprzez interfejs szeregowy RS-232 z protokołem Modbus.

Stacja dyspozytorska systemu realizuje następujące funkcje: zbieranie danych pomiarowych z układów automatyki węzłów ciepłych, wyświetlanie obrazów synoptycznych sieci ciepłowniczej i poszczególnych węzłów ciepłych, sygnalizacja stanów alarmowych, wyświetlanie danych historycznych procesu, archiwizacja wybranych danych pomiarowych, analiza danych pomiarowych, wypracowywanie optymalnych parametrów pracy sieci ciepłowniczej, przesyłanie nastaw regulacji do układów automatyki węzłów ciepłych oraz do systemu automatyzacji kotłowni, przygotowywanie i wydruk raportów.

System monitorowania i sterowania siecią ciepłowniczą zapewnia zmniejszenie kosztów przesyłania energii cieplnej, gdyż skrócony został czas wykrywania awarii, dostępna jest pełna informacja o pracy urządzeń, parametrach zasilania oraz ilości ciepła. Ze stacji dyspozytorskiej można także sterować nastawami układów automatyki w węzłach ciepłych zgodnie z aktualnym zapotrzebowaniem na energię.

### **3. NOWA KONCEPCJA ROZPROSZONEGO SYSTEMU MONITOROWANIA I STEROWANIA SIECI CIEPŁOWNICZEJ**

Na podstawie zebranych doświadczeń w eksploatacji prezentowanego systemu monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej oraz uwzględniając dostępność nowoczesnej technologii rozproszonych systemów sterowania, zaproponowano nową koncepcję rozproszonego systemu monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczych z zastosowaniem technologii LonWorks. System ten nie posiada wad obecnie stosowanych systemów monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczych.

#### **3.1. Architektura sieci sterowania LonWorks**

Technologia LonWorks została opracowana przez amerykańską firmę Echelon z myślą o bardzo szerokim zastosowaniu w różnych dziedzinach techniki. Technologia ta stanowi zintegrowany zbiór środków technicznych nazwanych LonWorks, które umożliwiają tworzenie sieci sterowania zapewniając niski koszt implementacji sieci i dużą elastyczność rozwiązań. Środki techniczne LonWorks obejmują wszystkie elementy niezbędne do projektowania, realizacji i eksploatacji sieci LonWorks.

Sieć składa się z inteligentnych węzłów realizujących funkcje zbierania danych, sterowania i komunikacji z innymi węzłami sieci. Komunikacja może być realizowana za pomocą różnych mediów komunikacyjnych z zastosowaniem specjalnego protokołu LonTalk, który zaprojektowany został w celu niezawodnego przesyłania krótkich komunikatów sterowania. Protokół ten umożliwia rozproszoną komunikację typu peer-to-peer, a więc możliwe jest bezpośrednie komunikowanie się poszczególnych węzłów sieci. Protokół LonTalk zaimplementowany został w całości w układzie scalonym Neuron.

Protokół LonTalk jest zgodny z modelem odniesienia OSI określonym przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji (ISO) i obejmuje wszystkie siedem warstw tego modelu.

Protokół LonTalk jest protokołem typu CSMA (carrier sense multiple access). Protokoły typu CSMA odznaczają się wysoką niezawodnością przy względnie niskim koszcie implementacji.

Nie gwarantują jednak determinizmu, czyli granicznego czasu, w którym komunikat zostanie przekazany. Protokół LonTalk praktycznie eliminuje tę wadę przez zastosowanie specjalnych metod unikania i rozstrzygania kolizji. W zastosowaniach wymagających krótkich czasów reakcji, komunikaty mogą być obsługiwane według priorytetów.

W protokole LonTalk występuje funkcja "autentyczności", która pozwala uniknąć nieautoryzowanych dostępów do sieci bez konieczności stosowania złożonych algorytmów zabezpieczeń. Protokół realizuje też funkcję zarządzania siecią w każdym węźle sieci. Są to funkcje związane z instalacją i konfiguracją węzłów sieci oraz prowadzeniem diagnostyki i statystyki.

Fizyczne medium komunikacji nazywane jest kanałem, który służy do przesyłania pakietów zawierających informację. Sieć może zawierać jeden lub więcej kanałów. Przesłanie pakietu z jednego kanału do innego wymaga zastosowania specjalnego modułu zwanego bridge lub router. Bridge jedynie kopiuje przesyłany pakiet, natomiast router uzależnia przesłanie pakietu od miejsca jego przeznaczenia.

W celu uproszczenia sterowania przesyłaniem danych zastosowana została adresacja hierarchiczna. Górnym poziomem hierarchii adresów jest domena. Drugim poziomem adresacji jest podsieć. Domena może zawierać do 225 podsieci. Podsieć jest logicznym zbiorem węzłów przyłączonych do jednego lub większej liczby kanałów. Na poziomie podsieci stosowany jest inteligentny router określający, która podsieć leży po której stronie, i następnie odpowiednio przesyłający pakiety.

Trzecim poziomem adresacji jest węzeł. Podsieć może zawierać do 127 węzłów. Węzły mogą tworzyć grupy. Grupa węzłów może obejmować szereg podsieci w obrębie domeny. Jeden węzeł może należeć jednocześnie do 15-tu grup. Przynależność do grup określa liczbę węzłów jednocześnie otrzymujących komunikaty. Oprócz tego każdy węzeł posiada unikalny adres, którym jest identyfikator ID układu scalonego Neuron.

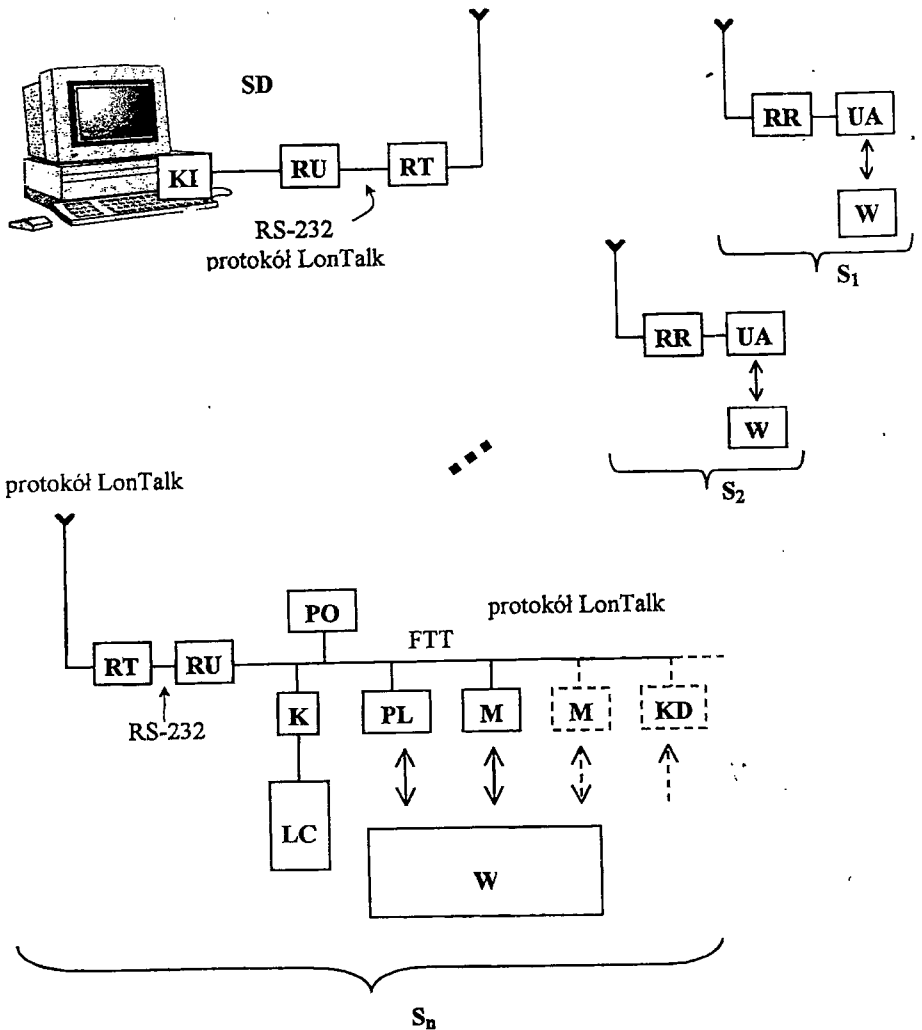
W celu ujednoczenia projektowania aplikacji wprowadzono listę tzw. zmiennych sieciowych SNVT (Standard Network Variable Types) zawierającą około 100 rodzajów jednostek, zakresów i dokładności.

Dana zmienna sieciowa przypisana jest jednemu węzłowi, ale może być dostępna dla innych węzłów. Zmienne sieciowe węzła określają jego wejścia i wyjścia z punktu widzenia sieci i pozwalają rozsyłać dane w rozproszonym systemie. Jeżeli program aplikacyjny wykonany w danym węźle dokonuje zapisu w zmienną sieciową wyjścia, ta nowa wartość zmiennej jest przesyłana przez sieć do wszystkich węzłów ze zmiennymi sieciowymi wejść powiązanych z tą zmienną sieciową wyjścia. Przesłanie to wykonuje w sposób automatyczny protokół LonTalk.

Zmienne sieciowe dają dobry wgląd w działanie rozproszonego systemu. Programista nie musi posługiwać się buforami komunikatów, adresami węzłów czy przesyłaniem zadania lub odpowiedzi. Zmienne sieciowe zastępują użycie rozkazów i ujednoczają projektowanie aplikacji. Ułatwia to budowę nowych urządzeń mogących pełnić rolę węzłów sieci LonWorks.

### **3.2. Budowa rozproszonego systemu monitorowania i sterowania z zastosowaniem technologii LonWorks**

Rozproszony system monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej z zastosowaniem technologii LonWorks składa się ze stacji dyspozytorskiej, stacji zdalnych oraz radiowych łączy transmisyjnych (Rys.3). Charakterystyczną cechą systemu jest zastosowanie jednolitego systemu komunikacyjnego na bazie sieci sterowania LonWorks zarówno w stacjach zdalnych, jak i do komunikacji między stacją dyspozytorską i stacjami zdalnymi.



- SD - stacja dyspozytorska
- $S_n$  - n-ta stacja zdalna
- RR - radio router
- UA - układy automatyki
- W - wymiennikowy węzeł cieplny
- KI - karta interfejsu sieci LonWorks
- RU - router
- RT - radio tranceiver

- FTT - Free Topology Tranceiver
- PLC - sterownik programowalny
- PO - panel operatorski
- K - konwerter
- M - moduł rozszerzenia sterownika
- KD - koncentrator danych
- LC - licznik ciepła
- - możliwość rozbudowy stacji

Rys.3. Struktura systemu monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej z zastosowaniem technologii LonWorks i komunikacji radiowej z protokołem LonTalk

Stację dyspozytorską stanowi komputer typu IBM PC z bazą danych i oprogramowaniem aplikacyjnym wizualizacji. Komputer wyposażony jest w kartę interfejsu sieci sterowania LonWorks wraz z serwerem DDE. Do karty interfejsu przyłączony jest radio router z anteną.

Każda stacja zdalna obejmuje układy automatyki wymiennikowych węzłów ciepłych, radio router oraz antenę. Układy automatyki zawierają sterownik programowalny, urządzenia pomiarowe oraz urządzenia wykonawcze. Wszystkie te urządzenia pracują w sieci LonWorks, zatem muszą być wyposażone w interfejsy sieci LonWorks z trancieverami typu FTT, jako najczęściej stosowanymi przez producentów urządzeń automatyki. Do sieci mogą być przyłączone dodatkowe urządzenia i układy pomiarowe z interfejsem sieci LonWorks, np. panel operatorski, dowolny koncentrator danych wyposażony w interfejs sieci LonWorks, konwerter magistrali M-Bus do przyłączenia licznika ciepła. Sieć sterowania LonWorks w ramach stacji zdalnej tworzy segment sieci zakończony przez radio router złożony z routera i radio trancievera sieci LonWorks. Router, zachowując protokół LonTalk, dostosowuje szybkość transmisji i parametry sygnałów do wymagań radio trancievera, który wysyła lub odbiera sygnały radiowe. Radio trancievery pracują najczęściej w paśmie 400-500 MHz i posiadają moc wyjściową od kilku mW do kilkunastu W. Można również zastosować inną odmianę routera, który jest dostosowany do współpracy z nadajnikami radiowymi ogólnego przeznaczenia. Wtedy stosownie do wymagań na moc wyjściową można dobrać odpowiednie radio.

Komunikacja w stacjach zdalnych, jak i komunikacja między stacjami oraz ze stacją dyspozytorską odbywa się zgodnie z protokołem LonTalk. System umożliwia komunikację z inicjatywy stacji dyspozytorskiej do stacji zdalnych, między stacjami zdalnymi oraz komunikację z inicjatywy stacji zdalnej do stacji dyspozytorskiej.

Ze względu na zastosowanie standardowych rozwiązań, system cechuje otwartość umożliwiającą łatwe wprowadzanie zmian i rozbudowę systemu w ramach poszczególnych stacji zdalnych jak i na poziomie całego systemu.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowano nową koncepcję systemu monitorowania i sterowania sieci ciepłowniczej z zastosowaniem technologii LonWorks. Standardowy system komunikacyjny pozwala dołączać do układów automatyki węzła ciepłego dodatkowe elementy automatyki różnych producentów, ponieważ coraz więcej firm oferuje urządzenia automatyki wyposażone w interfejs sieci LonWorks.

System może być dowolnie rozbudowywany przez dodawanie kolejnych stacji zdalnych wykorzystując szerokie możliwości adresowania i grupowania stacji systemu. Każda stacja zdalna systemu może komunikować się z dowolną inną stacją systemu, jeżeli tylko nie zostały wprowadzone ograniczenia przy konfigurowaniu. Zatem nie jest wymagane ciągle odpytywanie stacji zdalnych, aby zebrać aktualne dane pomiarowe. Można również skonfigurować stacje przekaźnikowe. Protokół LonTalk zapewnia dużą niezawodność komunikacji z możliwością ustalenia priorytetów dostępu do medium przez poszczególne stacje systemu.

System charakteryzujący się przedstawionymi cechami może znaleźć zastosowanie w automatyzacji innych sieci mediów energetycznych takich jak sieci wodociągowe, gazowe, energetyczne oraz w automatyzacji przemysłowych procesów technologicznych.

## LITERATURA

- Boroń W.: Lokalna sieć sterowania LON; *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 10/1993, s.247-249.
- Caban D., Zieliński B.: Łączy bezprzewodowe w sieciach polowych; V Seminarium „Sieci komputerowe”; *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Informatyka*, z.34, 1998, s.529-538.
- Goszczyński T.: Przykłady zastosowań sieci LonWorks na świecie i w kraju; *Pomiary Automatyka Robotyka*, nr 2/1998.
- Małysiak H., Caban D., Zieliński B.: Zasady stosowania transmisji bezprzewodowej w systemach CIM. *Bezprzewodowe Media Komunikacyjne; Projekt Badawczy Zamawiany* nr PBZ-31-05, 1996.
- LonWorks Technology Device Data Book; Motorola, Inc., 1997.
- Materiały firmowe; Echelon Corporation.
- Modicon Modbus Protocol Reference Guide. PI-MBUS-300 Rev.D.; Modicon, Inc., 1992.
  
- Wajs W.: Systemy sterowania rozproszonego, *Laboratorium LonWorks w AGH*; Poldex, Kraków, 1998.