

Marcin LORENC

POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

Charakterystyka systemu pomiarowego rozkładu pól temperaturowych występujących w obiektach wielkokubaturowych

Dr inż. Marcin LORENC

Pracownik Instytutu Elektroenergetyki, Wydziału Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Autor ponad 40 publikacji z zakresu diagnostyki układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych.



e-mail: lem@op.home.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono charakterystykę systemu przeznaczonego do pomiaru, rejestracji i archiwizacji rozkładu pól temperaturowych występujących w obiektach wielkokubaturowych. Zdefiniowano wymagania stawiane systemowi oraz podano praktyczne rozwiązania jednoczesnego pomiaru temperatury w 288 punktach. Zaprezentowano rozwiązania bezprzewodowej transmisji danych z wykorzystaniem transmisji pakietowej GPRS. W całości zaprojektowany, zbudowany i wykonany w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej system, wykorzystano w Katedrze Opolskiej, gdzie mierzono temperatury przez okres jednego roku. Celem prowadzonych badań było wyznaczenie pionowego i poziomego rozkładu temperatur nawy głównej. Otrzymane wyniki posłużyły do optymalizacji kosztów związanych z eksploatacją systemu grzewczego oraz do wyznaczenia miejsc występowania największych strat ciepła.

Słowa kluczowe: system pomiarowy, pomiar rozkładu pól temperaturowych, komfort cieplny, mikroklimat pomieszczeń.

Characteristics of the Measuring System Used for the Measurement of the Temperature Field Distribution Occurring in Large-Cubage Objects

Abstract

The paper presents characteristics of a system for measurement, registration and archiving of the temperature field distribution occurring in large-cubage objects. The system requirements have been defined and practical solutions of simultaneous temperature measurements in 288 points have been provided. The solutions of a wireless data transmission using GPRS packet transmission have been presented. The system, fully designed, constructed and made in the Institute of Electrical Engineering of the Technical University of Opole, was used in the Opole Cathedral, where temperature was measured for the period of one year. The aim of the research was to determine vertical and horizontal temperature distributions of the nave. The results obtained were used for optimization of the heating costs and determining the places of the heaviest heat losses.

Keywords: measuring system, measurement of temperature field distribution, heat comfort, microclimate of the rooms.

1. Wstęp

W związku z tym, że człowiek coraz większą część życia spędza w zamkniętych pomieszczeniach, poza środowiskiem naturalnym co ma bezpośredni związek z rozwojem cywilizacyjnym, baczniejszą uwagę kieruje się ostatnio na warunki życia człowieka w środowisku sztucznym. Bezpośredni wpływ na samopoczucie oraz zdrowie człowieka ma mikroklimat tam panujący. Pojęcie mikroklimatu wewnątrz odnosi się do zbioru parametrów fizycznych i chemicznych kształtujących mikrośrodowisko danego pomieszczenia i oddziałujących na organizm ludzki, które to można podzielić na zespół elementów termicznych i pozatermicznych.

Zespół elementów pozatermicznych jest bardzo rozległy i obejmuje wiele czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych. Bezpośrednio najsilniejszy wpływ na człowieka mają elementy termiczne mikroklimatu do których zalicza się przede wszystkim temperaturę oraz wilgotność względną, prędkość przepływu powietrza i temperaturę promieniowania otoczenia. Parametry te określa się jako zespół termicznych elementów mikroklimatu. Właściwe ukształtowanie wartości poszczególnych elementów mikroklimatu jest podstawowym warunkiem osiągnięcia przez osoby przebywające w danym środowisku stanu komfortu cieplnego oraz ogólnie dobrego samopoczucia i zdrowia.

Zagadnienie mikroklimatu wewnętrznego pomieszczeń, metod jego nadzoru i utrzymania w żądanym kształcie jako mikroklimatu komfortu cieplnego przyjaznego człowiekowi lub jako mikroklimatu wymaganego w przemyśle jest złożonym interdyscyplinarnym zagadnieniem naukowym. Podjęta w artykule tematyka dotyczy opisu stworzonego systemu przeznaczonego do pomiaru, rejestracji i archiwizacji danych rozkładu pól temperaturowych występujących w obiektach wielkogabarytowych, którymi mogą być zarówno obiekty przemysłowe jak również obiekty użyteczności publicznej.

2. Specyfikacja wymagań stawianych systemowi pomiarowemu

Projektowany i wykonany system pomiarowy powinien spełniać następujące wymagania:

- możliwość zlokalizowania układu pomiarowego w trudno dostępnym miejscu,
- odporność na zakłócenia elektromagnetyczne mogące pojawić się w czasie pracy systemu w związku z występującymi bardzo dużymi odległościami pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi,
- możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur otoczenia od -20°C do 50°C ,
- możliwość pracy w środowisku o dużym stopniu zakurzenia i zapylenia, szczególnie w okresie grzewczym,
- maksymalna miniaturyzacja czujników pomiaru temperatury dająca możliwość ich ukrycia,
- wymagana dokładność pomiaru temperatury powinna wynosić poniżej 1°C ,
- czas trwania pomiaru, rejestracji i archiwizacji danych nie powinien przekroczyć kilku minut,
- ze względu na długi czas użytkowania systemu pomiarowego wymagana jest możliwość pracy bezobsługowej,
- odporność na brak zasilania, automatyczne uruchomienie układu pomiarowego po powrocie napięcia zasilającego,
- możliwość archiwizacji danych w sposób pozwalający na szybki dostęp
- funkcja samokontroli poprawności działania wszystkich elementów systemu oraz możliwość powiadamiania poprzez wiadomości SMS o wszelkich nieprawidłowościach związanych z ich pracą do których można zaliczyć: uszkodzenie czujnika, brak zasilania itp.

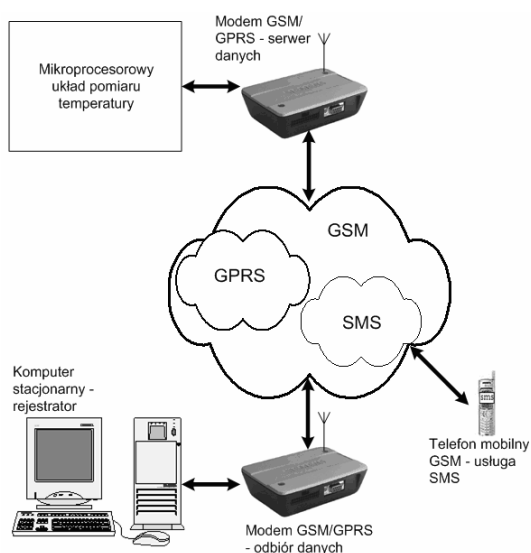
3. Ogólna koncepcja rozwiązania technicznego systemu pomiarowego

System pomiarowy spełniający przedstawione wyżej wymagania składa się z następujących elementów (rys. 1):

- mikroprocesorowy układ pomiaru temperatury – oparty na mikrokontrolerze AVR. Do podstawowych zadań układu po-

miarowego można zaliczyć: przeprowadzenie pomiaru za pomocą zestawu cyfrowych czujników temperatury oraz komunikacja interfejsem szeregowym z modemem GPRS pełniącym rolę serwera danych pomiarowych,

- telemetryczny system transmisji danych – oparty na pakietowej transmisji danych GPRS,
- system komputerowy wykorzystywany do prezentacji, rejestracji i archiwizacji danych pomiarowych połączony za pomocą interfejsu szeregowego z modemem GPRS odbierającym dane z serwera,
- serwisowy telefon mobilny GSM do którego wysyłane są automatycznie wiadomości tekstowe SMS o wszelkich nieprawidłowościach związanych z pracą całego systemu.



Rys. 1. Ogólny schemat telemetrycznego systemu pomiaru temperatury
Fig. 1. Overall diagram of the telemetric system of temperature measurement

4. Mikroprocesorowy układ pomiaru temperatury

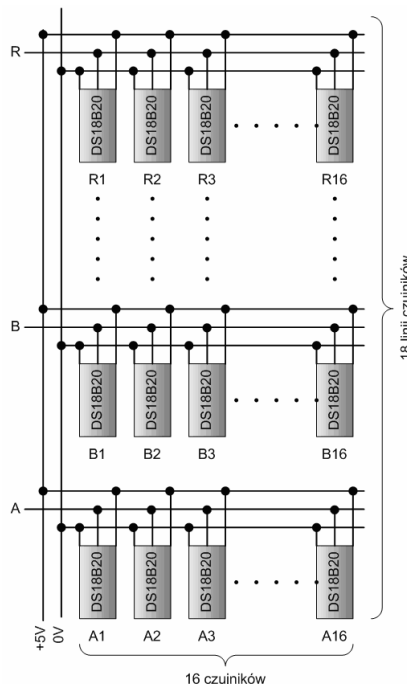
4.1. Czujniki temperatury

Do pomiaru temperatury wykorzystano cyfrowy czujnik temperatury DS18B20 firmy Maxim Dallas. Czujnik ten charakteryzuje się maksymalnym błędem pomiaru temperatury rzędu $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie temperatur pracy od -20°C do 85°C , posiada przetwornik analogowo-cyfrowy z konfigurowalną rozdzielczością przetwarzania w zakresie od 9 do 12 bitów, a maksymalny czas pomiaru temperatury dla 12-bitowej rozdzielczości wynosi 750 ms. Układ DS18B20 zapewnia komunikację z zewnętrznym układem kontrolera za pomocą magistrali 1-Wire (rys. 2). Zasilany może być z osobnego przewodu zasilającego jak również z samej linii danych.



Rys. 2. Wyprowadzenia czujnika DS18B20
Fig. 2. Sensor DS18B20 terminal

Na rys. 3 przedstawiono zastosowaną konfigurację połączeń matrycy czujników temperatury, składającą się z 18 linii pomiarowych (oznaczonych: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R). Na każdej linii pomiarowej umieszczono co 1 metr 16 czujników DS18B20.

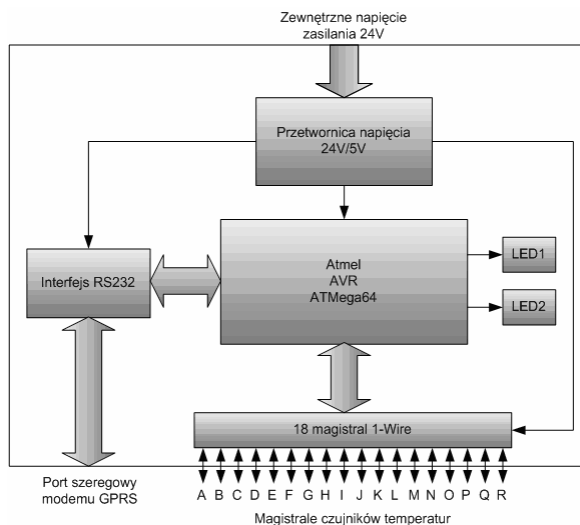


Rys. 3. Schemat połączeń zastosowanej matrycy czujników temperatury
Fig. 3. Connection diagram of the temperature sensor used

Magistrala 1-Wire umożliwia pracę wielu czujników temperatury na jednej, wspólnej linii danych. Każdy ze znajdujących się czujników jest identyfikowany za pomocą fabrycznie przyporządkowanego niepowtarzalnego 64-bitowego kodu (ROM Code).

4.2. Mikroprocesorowy układ pomiaru temperatury

Rys. 4 przedstawia schemat mikroprocesorowego układu pomiaru temperatury opartego na mikrokontrolerze z rodziny AVR firmy Atmel – ATmega64.



Rys. 4. Schemat blokowy wykorzystanego mikroprocesorowego układu pomiaru temperatury
Fig. 4. Block diagram of the temperature measurement microprocessor system

Do najważniejszych elementów zastosowanego układu pomiarowego należą:

- mikrokontroler ATmega64 pracujący przy częstotliwości taktowania 11,0592 MHz oraz zasilany napięciem 5V;

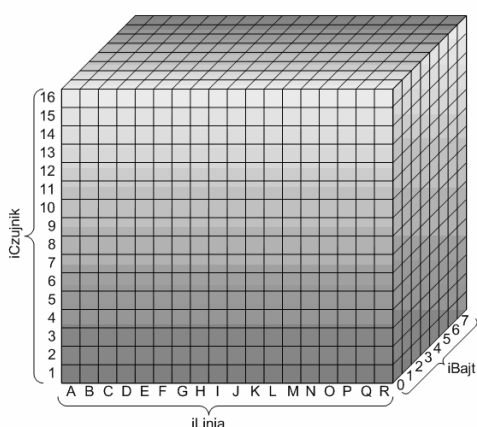
- 18 magistral obsługujących protokół 1-Wire do wszystkich linii czujników (linie A-R);
- Interfejs RS232 – konwerter sygnałów pomiędzy standardami TTL a RS232C umożliwiający komunikację z zewnętrznym modemem GPRS;
- 2 sygnalizacyjne diody LED informujące o stanie pracy układu;
- układ zasilania oparty na przetwornicy napięcia 24V/5V o prądzie znamionowym 1 A wymagający zewnętrznego zasilacza o napięciu 24 V;

ATMega64 jest 8-bitowym mikrokontrolerem o rozdzielonej pamięci programu i danych, opartym na technologii RISC i architekturze harwardzkiej. Dzięki pracy potokowej jednostki arytmetyczno-logicznej wykorzystany mikrokontroler charakteryzuje się dużą wydajnością obliczeniową dochodzącą do 16 MIPS. Procesor wykorzystuje 64kB pamięć kodu w postaci pamięci Flash, 2kB pamięci EEPROM i 4kB pamięć roboczą SRAM. Mikrokontroler charakteryzuje się szerokim zakresem temperatur pracy (od -55°C do 125°C). Ponadto posiada dwa wbudowane interfejsy szeregowo umożliwiające komunikację z urządzeniami zewnętrznymi za pomocą dowolnego protokołu.

4.3. Oprogramowanie systemu mikroprocesorowego

Mikrokontroler ATMega64 oprogramowano przy pomocy środowiska WinAVR, który to jest zestawem narzędzi programistycznych typu open source pracujących pod nadzorem systemu operacyjnego Microsoft Windows i przeznaczonych dla układów z rodziny AVR firmy Atmel. W skład środowiska wchodzi kompilator języka C i C++ (avr-gcc), narzędzie programujące (avr-dude), debugger (avr-gdb). Rdzeniem oprogramowania jest biblioteka standardowa języka C avr-libc oparta o standard ANSI-C (ANSI X3.159-1989 i ISO/IEC 9899:1990), jego następcę C99 (ISO/IEC 9899:1999) oraz rozszerzenia dla architektury AVR.

Podstawowym zadaniem realizowanym przez system mikroprocesorowy jest komunikacja protokołem 1-Wire z 288 czujnikami połączonymi w 18 linii po 16 czujników każda. Do realizacji tego zadania stworzono trójwymiarową tablicę kodów ROM identyfikującą jednocześnie lokalizację czujnika w przestrzeni (rys. 5). Poszczególne indeksy tablicy składają się odpowiednio: numer linii (A-R), numer czujnika [1-16] oraz numer bajtu dla 64-bitowego kodu ROM czujników.



Rys. 5. Trójwymiarowa tablica kodów ROM matrycy czujników (tabROM)
Fig. 5. Three-dimensional table of ROM codes of the sensor matrix (tabROM)

Realizacja odczytu wartości z każdego czujnika pomiarowego opiera się na sekwencyjnym skanowaniu wszystkich czujników za pomocą dwóch zagnieżdżonych pętli indeksowanych zmiennymi iLinia i iCzujnik. W ramach pojedynczego zadania następuje etap odczytania stanu czujnika czyli pobranie wartości zmierzonej temperatury (procedura Odczytaj_czujnik()) oraz etap rozpoczęcia

kolejnego cyklu pomiarowego czujnika DS18B20 (procedura Start_pomiaru()).

4.4. Telemetryczny system transmisji danych

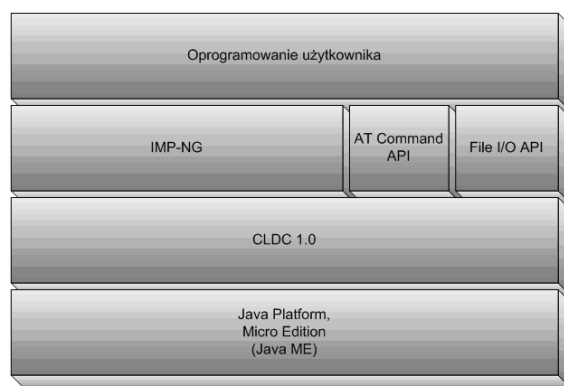
W celu przesyłania danych pomiarowych, w dowolnie wybrane miejsce, zbudowano telemetryczny system transmisji danych oparty o sieć telefonii komórkowej GSM [1,2]. Do pracy telemetrycznej wykorzystano czteroszakresowy (850/900/1800/1900 MHz) modem Siemens TC65 Terminal w wersji 2.0., którego widok ogólny przedstawiono na rys. 6. Modem jest oparty na 32-bitowym mikroprocesorze ARM7 o architekturze RISC, posiada 400 kB dostępnej dla maszyny wirtualnej Java pamięci RAM oraz 1,7 MB nieulotnej pamięci Flash zawierającej system plików. Wbudowany interfejs RS232 dostępny z poziomu maszyny wirtualnej Java, pozwala na komunikację z zewnętrznym systemem pomiarowym. Wbudowany stos TCP/IP dostępny poprzez polecenia AT jak również z opartej na konfiguracji CLDC 1.0 maszyny wirtualnej Java pozwala na transmisję danych telemetrycznych [3].



Rys. 6. Modem telemetryczny GSM/GPRS Siemens TC65T v2.000
Fig. 6. Telemetric modem GSM/GPRS Siemens TC65T v2.000

Modem TC65T jest terminalem GPRS klasy B, obsługującym oba rodzaje transmisji (klasyczna GSM oraz GPRS) ale nie w sposób jednoczesny. Charakteryzujący się wysoką klasą transmisji wielokanałowej (GPRS multislots class 12) modem zapewnia dużą szybkość transmisji danych wykorzystując po 4 szczeliny czasowe do i ze stacji bazowej [4].

Architektura programowa platformy Java ME modemu opiera się na CLDC 1.0 HI (HotSpot Implementation) oraz profilu IMP-NG (Information Module Profile Next Generation) czyli pokrywającego się z profilem MIDP 2.0 za wyjątkiem pakietu interfejsu graficznego lcdui. Dodatkowymi interfejsami maszyny wirtualnej Java wykraczającymi poza profil IMP-NG są pakiety AT Command API oraz File I/O API. Na rys. 7 przedstawiono hierarchiczną strukturę platformy Java terminala Siemens TC65T [3].



Rys. 7. Architektura platformy Java ME dla modemu Siemens TC65T
Fig. 7. Architecture of Java ME platform for Siemens TC65T modem

Istotną z punktu widzenia pracy bezobsługowej systemu pomiarowego temperatury jest funkcja samokontroli systemu polegająca na sprawdzaniu poprawności pracy wszystkich elementów wchodzących w skład systemu. Diagnostyka podzespołów systemu, w połączeniu z automatycznym powiadamianiem osoby nadzorującej poprzez wiadomości tekstowe SMS o nieprawidłowościach

związanych z ich pracą pozwala na ograniczenie do minimum czasu, w którym pomiary nie są rejestrowane. Do najważniejszych przekazywanych poprzez wiadomości SMS nieprawidłowości pracy systemu należą:

- awaria dowolnego czujnika temperatury,
- brak zasilania układu,
- brak komunikacji przez GPRS,
- brak komunikacji modemu z układem pomiaru temperatury,
- brak komunikacji modemu z komputerem rejestrującym,
- brak poprawnej pracy procesu rejestracji danych.

Do komunikacji pomiędzy modemem TC65T a mikroprocesorowym układem pomiaru temperatury zastosowano protokół MODBUS. Protokół ten jest przemysłowym protokołem komunikacyjnym warstwy aplikacji, bazującym na warstwie 7 modelu OSI, zapewniającym komunikację typu klient-serwer pomiędzy urządzeniami podłączonymi do różnych magistral i sieci takich jak EIA/TIA-232-E, EIA-422, EIA/TIA-485-A, światłowód, TCP/IP oparty na sieci Ethernet.

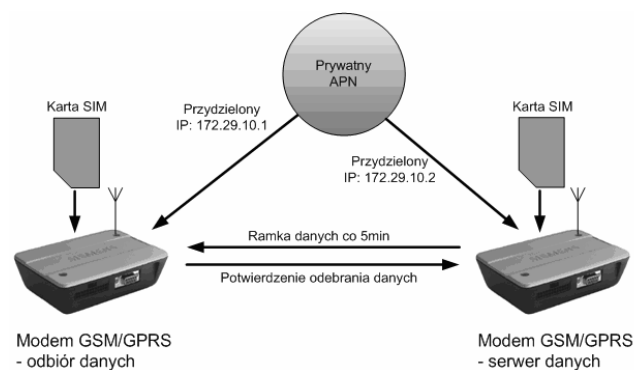
Spśród licznej grupy funkcji zdefiniowanych przez specyfikację protokołu MODBUS zaimplementowano tylko wybrane i niezbędne do komunikacji funkcje operujące na rejestrach 16-bitowych:

- READ HOLDING REGISTERS (Funkcja 0x03),
- WRITE REGISTER (Funkcja 0x06),
- WRITE MULTIPLE REGISTERS (Funkcja 0x16).

Lista obsługiwanych przez oprogramowanie mikrokontrolera ATmega64 funkcji MODBUS pozwala na komunikację z układem i dostęp do wartości mierzonych temperatury przez dowolne urządzenie lub oprogramowanie obsługujące popularny przemysłowy protokół MODBUS.

Podstawowym założeniem wykorzystanego sposobu transmisji danych pomiędzy modemami jest istnienie prywatnego punktu dostępu GPRS (APN – Access Point Name). W odróżnieniu od APN publicznych operatorów sieci komórkowych, których podstawowym celem jest dostarczenie usługi dostępu do Internetu za pomocą pakietowej transmisji danych GPRS dla użytkowników nie posiadających specjalnych wymagań, prywatny APN ukierunkowany jest na specyficzne wymagania systemów telemetrycznych. Pozwala on na statyczne przydzielanie numeru IP dla wybranej karty SIM. Statyczny adres IP zapewnia jednoznaczność adresowania i identyfikowania użytkowników sieci transmisji danych.

Schemat komunikacji GPRS dla dwóch modemów GPRS z wykorzystaniem prywatnego punktu dostępu APN przedstawiono na rys. 8. Dwa modemy GPRS wyposażone w karty SIM jednego operatora o znanych dla APN numerach otrzymują stałe adresy IP przy każdym rozpoczęciu sesji GPRS [5]. Dzięki temu komunikacja z wykorzystaniem protokołów opartych na TCP/IP nie wymaga korzystania z usługi DNS [1, 6].



Rys. 8. Komunikacja GPRS z wykorzystaniem prywatnego APN
Fig. 8. GPRS communication using a private APN

4.5. System komputerowy do rejestracji i archiwizacji danych

System komputerowy przeznaczony do rejestracji i archiwizacji danych komunikuje się protokołem MODBUS z modemem odbiorczym przy pomocy interfejsu RS232C, dzięki czemu na bieżąco śledzi wszelkie zmiany odebranych przez GPRS danych. Proces rejestracji danych polega na cyklicznym porównywaniu wartości identyfikatora odebranych danych z wartością poprzednią i zapisywaniu danych do pliku tekstowego w przypadku stwierdzenia zmiany. Każdego dnia o północy tworzony jest nowy plik tekstowy gdzie następuje archiwizacja bieżącego pliku danych.

Odebrane dane po procesie kontroli poprawności i przetwarzania wartości temperatury zostają zapisane do pliku tekstowego, którego fragment przedstawiono poniżej:

Fragment pliku danych:

```
...
471 2007-05-28 23:13:10 2007 5 28 23 13 10 402 ... 398
472 2007-05-28 23:18:40 2007 5 28 23 18 40 401 ... 398
473 2007-05-28 23:24:20 2007 5 28 23 24 20 401 ... 397
474 2007-05-28 23:29:50 2007 5 28 23 29 50 400 ... 397
...
```

Poszczególne kolumny danych w pliku rozdzielone są znakiem spacji. Pierwsza kolumna identyfikuje numer odebranej ramki, za nim zapisany zostaje stempel czasowy danych w dwóch formach: ogólnej i rozdzielonej. Następnie znajdują się wartości temperatury odczytane z kolejnych czujników umieszczonych na liniach pomiarowych. Kolejność odczytu jest następująca: A1-A16, B1-B16, ..., R1-R16.

5. Podsumowanie

Zaprezentowany w artykule system może być wykorzystywany wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba pomiaru temperatury w wielu punktach jednocześnie w zakresie pracy od -20°C do 50°C , przy wymaganej dokładności pomiaru wynoszącej poniżej 1°C . Konstrukcja odporna na zakłócenia elektromagnetyczne oraz zanieczyszczenia jak również zastosowany telemetryczny system transmisji danych, pozwalają na zastosowanie układu w trudno dostępnych i oddalonych od osoby dokonującej pomiaru miejscach. Zastosowany czujnik temperatury DS18B20, charakteryzujący się bardzo małymi wymiarami (wysokość 5mm, szerokość 5mm, głębokość 4mm) umożliwia dyskretne zainstalowanie go w miejscach, w których jest to szczególnie istotne. Funkcja samokontroli poprawności działania wszystkich elementów oraz możliwość powiadamiania o nieprawidłowościach związanych z pracą systemu, poprzez wiadomości SMS przesyłane operatorowi za pośrednictwem telefonii komórkowej, dają możliwość bezobsługowej pracy w całym cyklu pomiarowym. W przypadku zaniku napięcia, następuje samoczynne załączenie w momencie ponownego pojawienia się napięcia. Zaproponowany system został z powodzeniem wykorzystany w trwających 12 miesięcy pomiarach rozkładów pól temperaturowych w Katedrze Opolskiej.

6. Literatura

- [1] Nawrocki W.: „Komputerowe systemy pomiarowe“ WKiŁ, Warszawa 2002.
- [2] Nawrocki W.: „Rozproszone systemy pomiarowe“ WKiŁ, Warszawa 2006.
- [3] Siemens AG, Siemens TC65 Java User's Guide v08, 2006.
- [4] 3GPP TS 23.060 v3.16.0, GPRS; Service description; Stage 2, 2003.
- [5] 3GPP TS 23.03 v3.15.0, Numbering, addressing and identification, 2006.
- [6] RFC 1180, A TCP/IP Tutorial, 1991.