

System pomiaru rozkładu temperatury w obiektach wielkogabarytowych

Marcin Lorenc

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej

W artykule przedstawiono charakterystykę systemu przeznaczonego do pomiaru, rejestracji i archiwizacji wartości temperatury mierzonej jednocześnie w 288 punktach. Zdefiniowano wymagania stawiane systemowi oraz zaprezentowano rozwiązania bezprzewodowego przesyłania danych z wykorzystaniem transmisji pakietowej GPRS. W całości zaprojektowany, zbudowany i wykonany w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej system, wykorzystano w Katedrze Opolskiej do wyznaczenia rozkładu pól temperaturowych występujących w czasie działania systemu grzewczego w okresie zimy. Otrzymane wyniki wykorzystano do weryfikacji rezultatów uzyskanych na drodze modelowania numerycznego oraz prawidłowości i skuteczności działania zainstalowanego systemu grzewczego.

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

Współczesny człowiek coraz większą część życia spędza w zamkniętych pomieszczeniach, w oderwaniu od środowiska naturalnego, w związku z tym baczniejszą uwagę kieruje się na warunki życia w środowisku sztucznym, którego mikroklimat ma bezpośredni wpływ na samopoczucie oraz zdrowie. Pojęcie mikroklimatu wewnątrz odnosi się do zbioru właściwości fizycznych i chemicznych kształtujących mikrośrodowisko danego pomieszczenia i oddziałujących na organizm ludzki, które można podzielić na zespół elementów termicznych i pozatermicznych. 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.

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 występowaniem

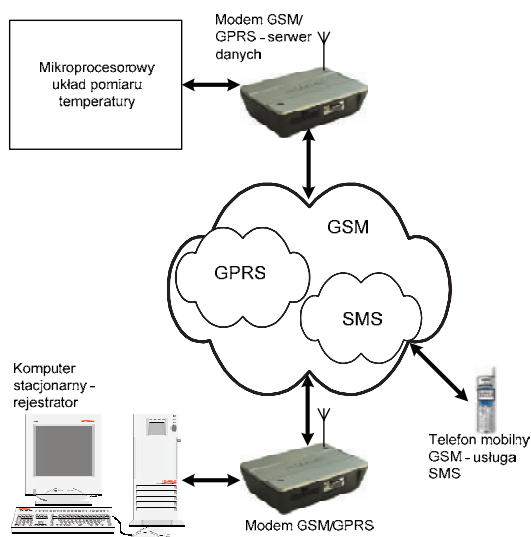
bardzo dużych odległości między poszczególnymi punktami pomiarowymi

- możliwość pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- możliwość pracy w środowisku o dużym stopniu zakurzenia i zapylenia, szczególnie w okresie grzewczym
- maksymalna miniaturyzacja czujników pomiaru temperatury, dająca możliwość ich ukrycia
- dokładność pomiaru temperatury poniżej $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- czas trwania pomiaru, rejestracji i archiwizacji danych nieprzekraczający kilku minut
- możliwość pracy bezobsługowej (ze względu na długi czas użytkowania systemu pomiarowego)
- odporność na brak zasilania, automatyczne uruchomienie układu pomiarowego po powrocie napięcia zasilającego
- możliwość archiwizacji danych w sposób pozwalający na szybki dostęp do danych
- 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.

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 pomiarowego 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, rejestrowania i archiwizacji danych pomiarowych połączony



Rys. 1. Ogólny schemat telemetrycznego systemu pomiaru temperatury

Fig. 1. Overall diagram of the telemetric system of temperature measurement

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.

Mikroprocesorowy układ pomiaru temperatury

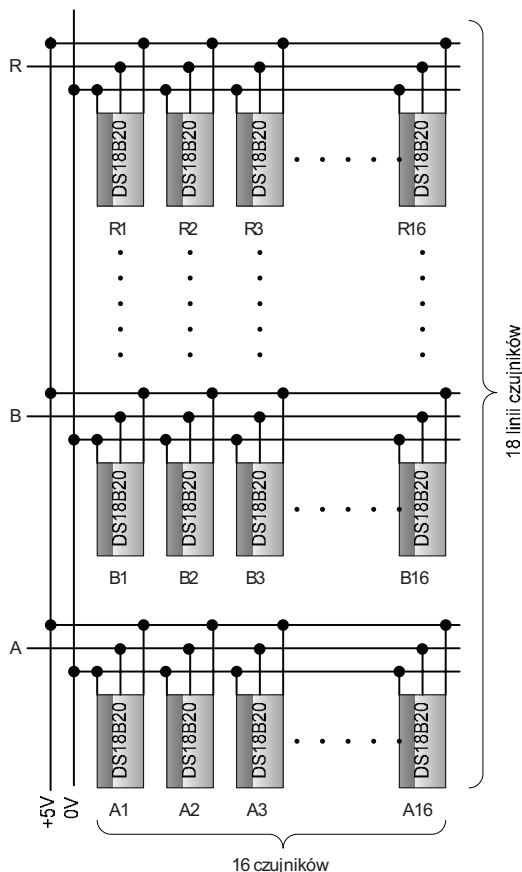
Do pomiaru temperatury wykorzystano cyfrowy czujnik temperatury DS18B20 firmy Maxim Dallas. Czujnik ten charakteryzuje się maksymalnym błędem pomiaru temperatury rzędu $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ w zakresie temperatur pracy od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, ma przetwornik 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. Zasilany może być z osobnego przewodu zasilającego, jak również z samej linii danych [2].

Na rys. 2 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 jeden metr sześćnaście czujników DS18B20.

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

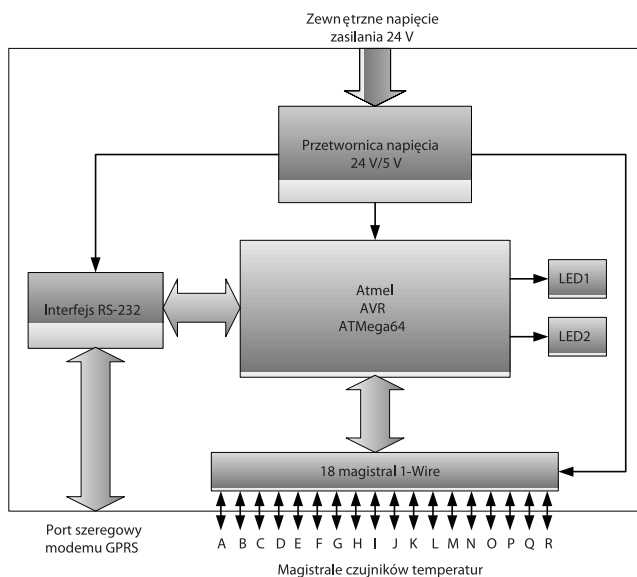
Na rys. 3 przedstawiono schemat mikroprocesorowego układu pomiaru temperatury opartego na mikrokontrolerze z rodziny AVR firmy Atmel – ATmega64. Do najważniejszych elementów zastosowanego układu pomiarowego należą:

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



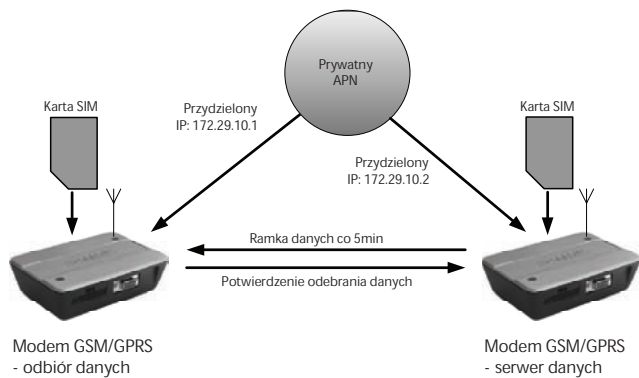
Rys. 2. Schemat połączeń zastosowanej matrycy czujników temperatury
Fig. 2. Connection diagram of the temperature sensor used

- 18 magistral obsługujących protokół 1-Wire do wszystkich linii czujników (linie A–R)
- interfejs RS-232 – konwerter sygnałów między standardami TTL a RS-232C, umożliwiający komunikację z zewnętrznym modemem GPRS
- 2 sygnalizacyjne diody LED informujące o stanie pracy układu



Rys. 3. Schemat blokowy wykorzystanego mikroprocesorowego układu pomiaru temperatury

Fig. 3. Block diagram of the temperature measurement microprocessor system



Rys. 4. Komunikacja GPRS z wykorzystaniem prywatnego APN

Fig. 4. GPRS communication using a private APN

- układ zasilania oparty na przetwornicy napięcia 24 V/5 V o prądzie znamionowym 1 A, wymagający zewnętrznego zasilacza o napięciu 24 V.

Podstawowym zadaniem realizowanym przez system mikroprocesorowy jest komunikacja za pośrednictwem protokołu 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.

Telemetryczny system transmisji danych

W celu przesyłania danych pomiarowych w dowolnie wybrane miejsce, zbudowano telemetryczny system transmisji danych. Do pracy telemetrycznej wykorzystano czterozakresowy (850/900/1800/1900 MHz) modem Siemens TC65 Terminal w wersji 2.0. Jest on oparty na 32-bitowym mikroprocesorze ARM7 o architekturze RISC, ma 400 kB dostępnej dla maszyny wirtualnej Java pamięci RAM oraz 1,7 MB nielotnej pamięci Flash zawierającej system plików. Wbudowany interfejs RS-232 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 [6].

Z punktu widzenia bezobsługowej pracy systemu pomiarowego temperatury istotna jest funkcja samokontroli, polegająca na sprawdzaniu poprawności pracy wszystkich jego elementów. Diagnostyka podzespołów systemu, w połączeniu z automatycznym powiadamianiem osoby nadzorującej za pomocą wiadomości tekstowych SMS o nieprawidłowościach w ich pracy, pozwala na ograniczenie do minimum czasu, w którym pomiary nie są rejestrowane.

Podstawowym założeniem wykorzystanego sposobu transmisji danych między modemami jest istnienie prywatnego punktu dostępu GPRS (*Access Point Name* – APN). Pozwala on na statyczne przydzielanie numeru IP dla wybranej karty SIM, zapewniając jednoznaczność adresowania i identyfikowania użytkowników sieci transmisji danych [3].

Schemat komunikacji GPRS dla dwóch modemów GPRS z wykorzystaniem prywatnego punktu dostępu APN przedstawiono na rys. 4. Dwa modemy GPRS wyposażone w karty SIM jednego operatora o znanych dla APN numerach otrzy-

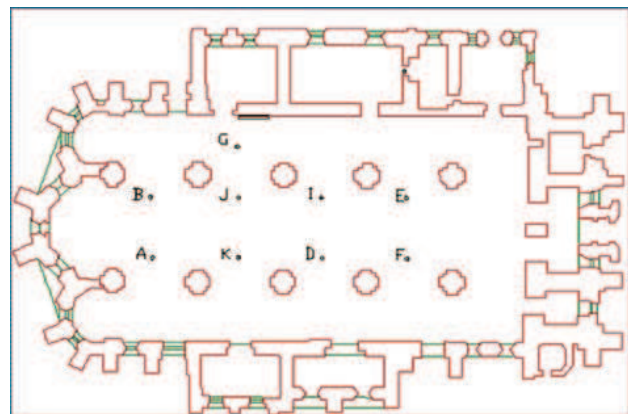
mują stałe adresy IP przy każdym rozpoczęciu sesji GPRS [2]. Dzięki temu komunikacja z wykorzystaniem protokołów opartych na TCP/IP nie wymaga korzystania z usługi DNS [4, 5, 7].

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 RS-232C, 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, w przypadku stwierdzenia zmiany, zapisywaniu danych do pliku tekstowego. Każdego dnia o północy tworzony jest nowy plik tekstowy, do którego archiwizowany jest bieżący plik danych.

Zakres i wyniki pomiarów temperatury

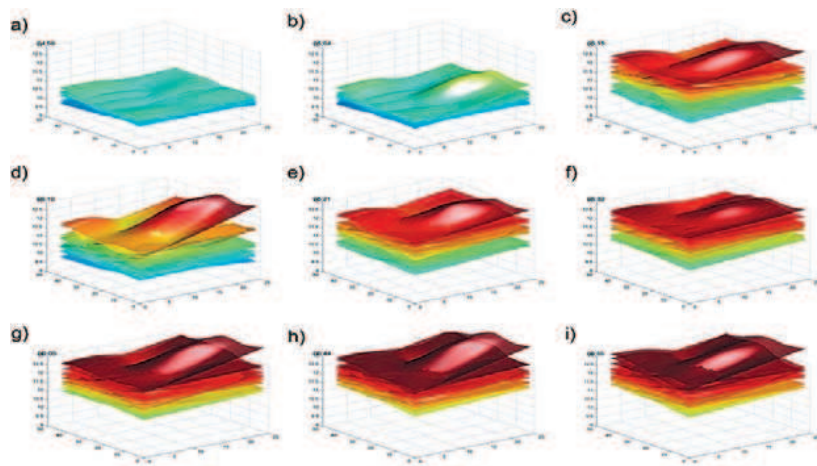
Pomiar temperatury wykonywano w szesnastu płaszczyznach poziomych, począwszy od wysokości 4 m, a skończywszy na wysokości 19 m, przy czym ostatni czujnik pomiarowy znajdował się już poza strefą bezpośrednio ogrzewaną, tzn. między stropem a dachem Katedry Opolskiej. Poziom zera przyjęto na poziomie posadzki. Względy techniczne i architektoniczne zadecydowały o tym, że najniższy punkt pomiaro-



Rys. 5. Widok ogólny rozmieszczenia linii pomiarowych w nawie głównej Katedry Opolskiej

Fig. 5. A general view of measuring lines layout in the main nave of Opole Cathedral

wy usytuowano na wysokości 4 m. Z tego samego powodu do pomiarów rozkładu pól temperaturowych wykorzystano 9 z 16 linii, co pozwoliło na rejestrację temperatury jednocześnie w 144 punktach. Katedra Opolska jest obiektem często odwiedzianym przez wiernych, jak również często odprawiane są tam nabożeństwa, dlatego też układ pomiarowy należało rozmieścić w taki sposób, aby w jak najmniejszym stopniu została zakłócona wewnętrzna architektura obiektu. Rozmieszczenie poszczególnych linii pomiarowych w Katedrze przedstawiono na rys. 5. W tym celu wykorzystano istniejące otwory w stropie, wcześniej przygotowane do zasilania punktów oświetleniowych.



Rys. 6. Dynamika zmian temperatury powietrza wewnątrz obiektu spowodowana działaniem gazowej nagrzewnicy zarejestrowana w dniu 21-03-2008 r. w godz. między 4:59 a 6:55

Fig. 6. Dynamics of air temperature changes inside the building caused by operation of a gas heater – recorded on 21st March 2008 between 4:59 am and 6:55 am

Na rys. 6 przedstawiono przykładową dynamikę zmian temperatury wywołaną włączeniem gazowej nagrzewnicy powietrza o mocy 150 kW zainstalowanej w obiekcie katedry w celu ogrzewania obiektu przed i w trakcie sprawowania obrządków kościelnych. Pomiary wykonano przy pomocy prezentowanego układu pomiarowego.

Podsumowanie

Zaprezentowany w artykule system może być wykorzystywany wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba pomiaru temperatury w wielu punktach jednocześnie w zakresie pracy od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy wymaganej dokładności pomiaru wynoszącej poniżej $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Konstrukcja odporna na zakłócenia elektromagnetyczne oraz zanieczyszczenia, jak również zastosowany telemetryczny system transmisji danych pozwalają na zastosowanie układu w miejscach trudno dostępnych i oddalonych od osoby dokonującej pomiaru. Zastosowany czujnik temperatury DS18B20, charakteryzujący się bardzo małymi wymiarami (wysokość 5 mm, szerokość 5 mm, głębokość 4 mm) 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.

Bibliografia

- 3GPP TS 23.03 v3.15.0, Numbering, addressing and identification, 2006.
- [www.maxim-ic.com] – dokumentacja techniczna czujnika DS18B20, (2003).
- [www.telemetry.pl], (2007).

- Nawrocki W.: *Komputerowe systemy pomiarowe*. WKiŁ, Warszawa 2002.
- Nawrocki W.: *Rozproszone systemy pomiarowe*. WKiŁ, Warszawa 2006.
- Siemens AG, Siemens TC65 Java User's Guide v08, 2006.
- RFC 1180, A TCP/IP Tutorial, 1991.

Measurement system of temperature layout in large buildings

The article presents the characteristics of a system designed to measure, register and archive temperature value simultaneously in 288 points. The requirements for such a system were defined and solutions of wireless data transmission using GPRS transmission were presented. This system was entirely designed and constructed in Institute of Electrical Engineering, Opole University of Technology. It was used in Opole Cathedral in order to determine a layout of temperature areas appearing during heating period in winter. The obtained results were used to verify the results gathered by means of numerical modeling and appropriateness and working efficiency of the installed heating system.

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

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: m.lorenc@po.opole.pl

