

**Marcin LORENC**

POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

## Metody i wyniki pomiarów pól temperaturowych w obiektach wielkogabarytowych

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 metodę oraz wyniki pomiaru rozkładu pól temperaturowych występujących w obiekcie Katedry Opolskiej oraz zależność tej temperatury od temperatury zewnętrznej. Badania wykonano wykorzystując specjalnie do tego celu zbudowaną aparaturę składającą się z 144 czujników DS18B20 firmy Maxim Dallas zainstalowanych na dźwięciu liniach pomiarowych, mikroprocesorowego układu pomiaru temperatury, telemetrycznego systemu transmisji oraz systemu komputerowego pozwalającego na prezentację, rejestrowanie i archiwizowanie danych pomiarowych. Celem prowadzonych prac było wyznaczenie korelacji oraz funkcji regresji określających współzależność temperatury panującej wewnątrz obiektu od temperatury zewnętrznej oraz wyznaczenie przestrzennego rozkładu temperatur nawy głównej Katedry, rejestrowany podczas pracy jak również podczas przerwy w pracy systemu grzewczego. 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.

### Methods and measurement results of temperature fields in large-size objects

#### Abstract

The paper presents the method and measurement results of the temperature field distribution in the Opole Cathedral and the dependence of this temperature on the external temperature. The investigations were carried out using the apparatus constructed especially for this purpose described in Section 2. Fig. 4 shows the distribution of the measurement lines in the Cathedral. On each line 16 sensors were placed every 1 m. The measurement results obtained made it possible to determine correlation and the regression function determining the relation between the internal (Fig. 5) and external (Fig. 6) temperature. The values of the linear regression coefficients calculated for the temperatures registered in summer and winter are given in Table 1. The results obtained make it possible to classify the Opole Cathedral as an object characterised by a stable climate throughout the whole year. The external temperature changes within a wide range but occurring through a relatively short period of time do not influence significantly the temperature values registered in the object at the same time. This refers both to summer and winter time. The application of the heating systems installed in the Opole Cathedral, in which canal air stoves are used for heating, which operate only directly before and during a service, is adequate from the economic point of view and provides thermal comfort to the people staying inside.

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

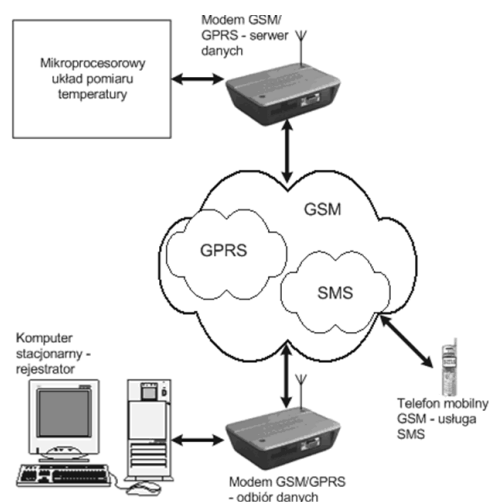
## 1. Wprowadzenie

Ogrzewanie kościołów jest zagadnieniem bardzo trudnym i złożonym, gdyż są to obiekty niepowtarzalne i zróżnicowane. Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę tego typu obiektów oraz ich indywidualność, nie ma jednoznacznych, sprawdzonych metod

dokonywania obliczeń zapotrzebowania w ciepło. W literaturze można znaleźć nieliczne propozycje wyznaczania zapotrzebowania mocy cieplnej do ogrzewania kościołów. Równie złożonym zagadnieniem poza obliczeniem zapotrzebowania na moc cieplną jest wybór systemu grzewczego z powodu krótkiego czasu użytkowania wynoszącego od kilku do kilkunastu godzin na dobę lub nawet w tygodniu. W tego typu obiektach nie stosuje się rozwiązań, w których temperatura utrzymywana jest na stałym, wysokim poziomie ponieważ byłyby to bardzo kosztowne, a ponadto mogłyby to doprowadzić do zniszczenia znajdujących się we wnętrzach zabytkowych przedmiotów i wyposażenia. Jednak najważniejszą kwestią jest zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplnego przebywających we wnętrzu obiektu osób, które to przebywają w nich przez stosunkowo krótki czas pozostając cały czas w okresie zimowym w grubym okryciu wierzchnim. Utrzymywanie we wnętrzu obiektu zbyt wysokiej temperatury mogłoby spowodować zwiększoną zachorowalność [ 3, 4, 5 ].

## 2. Charakterystyka układu pomiarowego

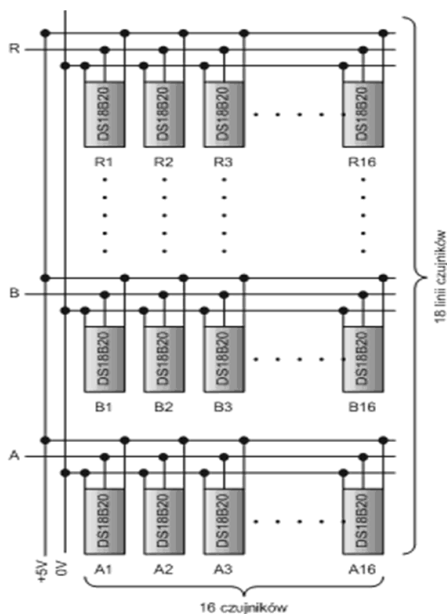
Na rys. 1 przedstawiono układ pomiarowy składający się z następujących elementów:



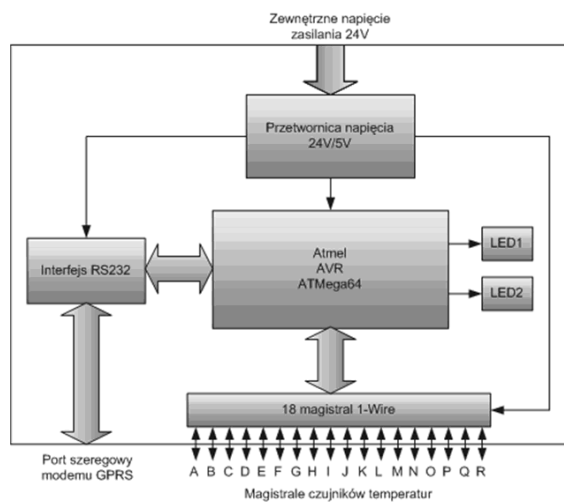
Rys. 1. Ogólny schemat telemetrycznego układu do pomiaru temperatury  
Fig. 1. Overall diagram of a telemetric system for temperature measurement

- 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 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. 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 1 metr 16 czujników DS18B20. 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).



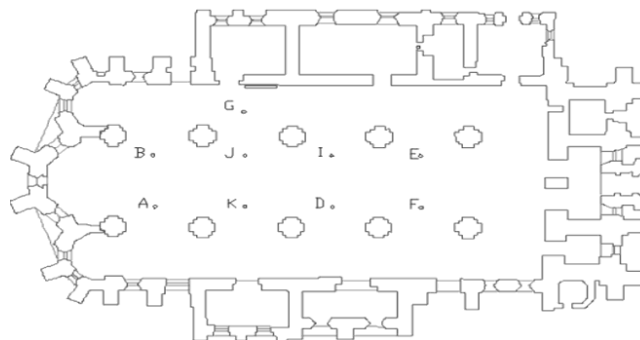
Rys. 2. Schemat połączeń zastosowanej matrycy czujników  
Fig. 2. Diagram of connections of the sensor matrix used



Rys. 3. Schemat blokowy wykorzystanego mikroprocesorowego układu pomiaru temperatury  
Fig. 3. Block diagram of the temperature measurement microprocessor system used

Rys. 3 przedstawia 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 5V; 18 magistral obsługujących protokół 1-Wire do wszystkich linii czujników (linie A-R); Interfejs RS232 konwerter sygnałów pomiędzy standardami TTL a RS232C umożliwiającą 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 [1, 2].



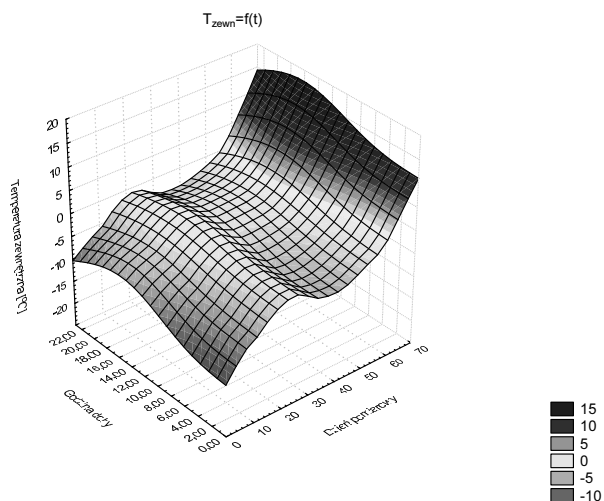
Rys. 4. Widok ogólny rozmieszczenia linii pomiarowych w nawie głównej Katedry Opolskiej  
Fig. 4. Overall view of the measurement line distribution in the Opole Cathedral nave

Pomiar temperatury wykonywano w szesnastu płaszczyznach poziomych począwszy od wysokości 4 metrów, a skończywszy na wysokości 19 metrów, przy czym ostatni czujnik pomiarowy znajdował się już poza strefą bezpośrednio ogrzewaną, a pomiędzy stropem i dachem Katedry. Poziom zera przyjęto na poziomie posadzki. Względy techniczne i architektoniczne zadecydowały o tym, że najniższy punkt pomiarowy usytuowano na wysokości 4 metrów. Z tego samego powodu do pomiarów rozkładu pól temperaturowych wykorzystano 9 z 16 linii pomiarowych 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. 4. W tym celu wykorzystano istniejące otwory w stropie, wcześniej przygotowane do zasilania punktów oświetleniowych.

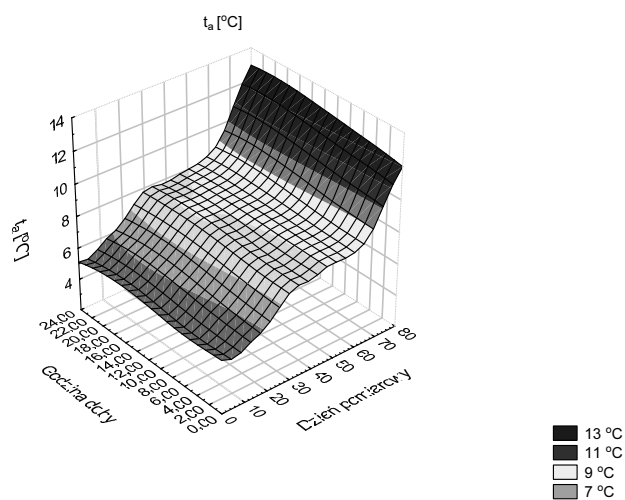
### 3. Zakres i wyniki pomiarów temperatury

Podstawowe wartości charakteryzujące klimat do których zalicza się temperaturę oraz wilgotność powietrza, panujące w okresie od 20-01-2007 do 30-03-2007 zakupiono z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział w Opolu. W celu wyznaczenia związków korelacyjnych zachodzących pomiędzy temperaturą zewnętrzną i temperaturą panującą we wnętrzu obiektu, do dalszej analizy wykorzystano temperaturę oznaczoną jako  $T_a$ , zarejestrowaną w tym samym okresie co wartości temperatury zewnętrznej w jednym, arbitralnie wybranym punkcie znajdującym się na linii F na wysokości 4 m od posadzki. Był to najbardziej oddalony punkt od źródła energii cieplnej.

Zarejestrowane wartości temperatury powietrza panującej we wnętrzu Katedry oraz temperatury zewnętrznej przedstawiono na rys. 5 i rys. 6 w formie wykresów przestrzennych, na których oś X reprezentuje kolejny dzień pomiarowy począwszy od 20-01-2007. Oś Y na wszystkich wykresach reprezentuje kolejne godziny doby, natomiast na osi Z przedstawiono odpowiednio wartości temperatury powietrza. Najniższa temperatura powietrza zarejestrowana na zewnątrz w okresie zimowym wyniosła  $-19,7^{\circ}\text{C}$ , a wystąpiła w dniu 31-01-2007r. o godz. 8.00. natomiast najwyższa temperatura zarejestrowana była w dniu 27-03-2007 o godz. 17.00 i wynosiła  $15^{\circ}\text{C}$ .



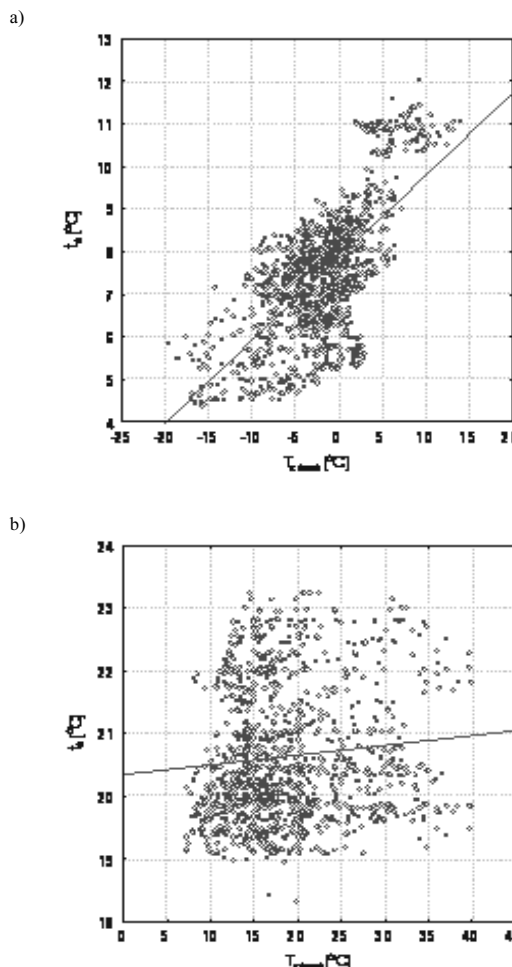
Rys. 5. Zmiany temperatury zewnętrznej zarejestrowane w Opolu w okresie od 20-01-2007 do 30-03-2007  
 Fig. 5. External temperature changes registered in the Opole Cathedral within the period from 20-01-2007 to 30-03-2007



Rys. 6. Zmiany temperatury wewnętrznej zarejestrowane w Katedrze w okresie od 20-01-2007 do 30-03-2007r  
 Fig. 6. Internal temperature changes registered in the Opole Cathedral within the period from 20-01-2007 to 30-03-2007

#### 4. Analiza uzyskanych wyników

Na podstawie korelacyjnego wykresu rozrzutu  $T_a = f(T_{zewn})$  przedstawionego na rys. 7a dla okresu zimowego stwierdzono liniową zależność między parametrami mikroklimatu Katedry Opolskiej, a temperaturą zewnętrzną dlatego w dalszej ocenie zależności korelacyjnych posłużono się współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona -  $\rho$ . Dla wartości parametrów temperatury wyznaczonych w okresie letnim nie można w sposób jednoznaczny określić znaku korelacji z temperaturą zewnętrzną. Otrzymano wykres przedstawiony na rys. 7b w kształcie smugi punktów. Poprowadzone przez te punkty linie zależności korelacyjnych wyznaczonych dla temperatur, są praktycznie równoległe do osi odciętych, co może świadczyć o braku korelacji między tymi zmiennymi. Wartość współczynnika Pearsona  $\rho$  dla okresu zimowego wyniosła 0,67. Natomiast dla okresu letniego wartość  $\rho$  wyniosła 0,1 co oznacza brak korelacji liniowej.

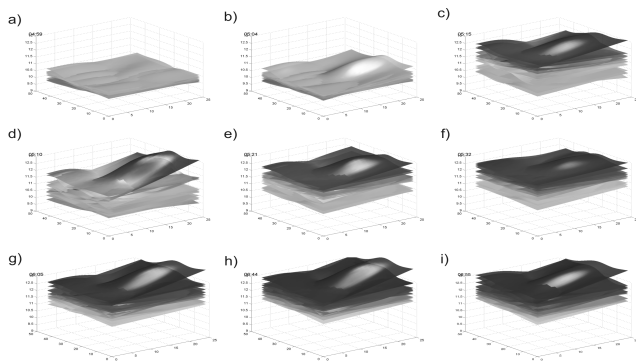


Rys. 7. Korelacyjne wykresy rozrzutu wyznaczone dla temperatury powietrza zewnętrznego i temperatury powietrza wewnętrznego zarejestrowanego: a) w okresie zimowym, b) w okresie letnim  
 Fig. 7. Correlative diagrams of spread determined for the external and internal air temperature registered in: a) winter, b) summer

Tab. 1. Wartości współczynników regresji liniowej wyznaczone dla temperatur zarejestrowanych w okresie zimowym  
 Tab. 1. Coefficient values of linear regression determined for the temperatures registered in winter and summer time

Temperatura		Wartości wsp. regresji liniowej		
		a	b	Korelacja
okres zimowy				
$t_b$	[°C]	0,193	7,852	Występuje
okres letni				
$t_b$	[°C]	0,007	20,37	Brak

Wartości współczynników regresji liniowej wyznaczone dla temperatur zarejestrowanych w okresie zimowym i letnim przedstawiono w tab. 1. Dla temperatury zarejestrowanej w okresie zimowym korelacja występuje, a wartości współczynnika regresji wynoszą odpowiednio: a - 0,193 i b - 7,852. Dla okresu letniego korelacja nie występuje. Istotny wpływ na wielkość temperatury wewnętrznej ma system grzewczy, który w czasie jednej godziny pracy jest w stanie podwyższyć temperaturę we wnętrzu obiektu o 3°C. Wielkość tych zmian zależna jest od temperatury panującej poza badanym obiektem. Na rys. 7 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 układu pomiarowego przedstawionego w pkt.2.



Rys. 7. Dynamika zmian temperatury powietrza wewnątrz obiektu spowodowana działaniem gazowej nagrzewnicy zarejestrowana w dniu 21-03-2008 w godz. pomiędzy 4:59, a 6:55

Fig. 7. Dynamics of air temperature changes inside the building caused by the gas stove operation registered between 4:59 and 6:55 on 21.03.2008

## 5. Wnioski

Otrzymane wyniki pozwalają zaklasyfikować obiekt Katedry Opolskiej do grupy obiektów, charakteryzujących się stabilnym klimatem występującym w ciągu całego roku. Zmiany temperatury zewnętrznej charakteryzujące się dużą dynamiką, ale występu-

jące przez stosunkowo krótki okres czasu, nie wpływają w sposób istotny na wartości temperatur rejestrowanych w tym samym czasie w obiekcie. Dotyczy to zarówno okresu letniego jak również zimowego. Zastosowanie systemów grzewczych działających wyłącznie w okresach przed nabożeństwem oraz w czasie ich trwania wydaje się najlepszym z ekonomicznego punktu widzenia oraz pozwala na zachowanie odpowiedniego komfortu cieplnego przebywających we wnętrzu osób.

## 6. Literatura

- [1] Nawrocki W.: „Komputerowe systemy pomiarowe“ WKiŁ, Warszawa 2002.
- [2] Nawrocki W.: „Rozproszone systemy pomiarowe“ WKiŁ, Warszawa 2006.
- [3] Brager G.S., de Dear R.: "Thermal adaptation in the build environment: a literature review". *Energy and Buildings*, 27, 1998, pp 83-96.
- [4] Brager G.S., Fountain M. E., Benton C.C., Arens E.A., bauman F.S.: "Thermal comfort: post, present and future, proceedings". Garston, 9-10 June, 1993, pp. 17-36.
- [5] Fanger P.O.: "Thermal comfort", Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

*Artykuł recenzowany*

## INFORMACJE

# Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

## Sieci Komputerowe i Systemy Telekomunikacyjne (SKST)

### Cel Studiów

Celem studiów jest przekazanie wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w zakresie: budowy bezpiecznych i wydajnych sieci komputerowych, konfiguracji i eksploatacji sieci komputerowych ze szczególnym uwzględnieniem sieci korporacyjnych, diagnostyki i pomiarów w sieciach komputerowych.

Zajęcia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub co drugi weekend (opcja do wyboru), przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

### Organizator studiów:

Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, http://imeia.elekt.polsl.pl

### Kierownik studiów:

Dr hab. inż. Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI, prof. Pol. Śl.