

Henryk POLAKOWSKI, Mirosław MORAWSKI, Tadeusz PIĄTKOWSKI, Henryk MADURA
 WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

Eksperymentalne określanie stref detekcji czujników PIR stosowanych w systemach alarmowych

Dr inż. Henryk POLAKOWSKI

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej (1976). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1987 w zakresie elektroniki - specjalność optoelektronika. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na metrologii urządzeń podczerwieni. Adiunkt w Zakładzie Techniki Podczerwieni i Termowizji Instytutu Optoelektroniki WAT. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 100 publikacji, w tym artykuły, referaty, patenty i wdrożenia.



e-mail: hpolakowski@wat.edu.pl

Mgr inż. Mirosław MORAWSKI

Absolwent Wydziału Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej (1982). Od 1996 roku pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT na stanowisku specjalisty. Zajmuje się projektowaniem układów optycznych, mechanicznych i urządzeń podczerwieni. Jako autor i współautor opublikował ponad 20 prac, w tym artykuły, patenty, wzory użytkowe i wdrożenia.



e-mail: mmorawski@wat.edu.pl

Dr inż. Tadeusz PIĄTKOWSKI

Ukończył studia na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej (1981) i Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1984). Od 1995 roku pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 2003 roku. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta. Zajmuje się zdalnymi pomiarami temperatury, projektowaniem układów optycznych i elektronicznych oraz systemów mikroprocesorowych. Jest autorem i współautorem ponad 30 publikacji.



e-mail: tpiatkowski@wat.edu.pl

Dr hab. inż. Henryk MADURA

Specjalista w dziedzinie optoelektroniki, techniki podczerwieni i termowizji. Absolwent Wydziału Elektroniki WAT (1976). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1983, a stopień doktora habilitowanego w 1999 roku. W latach 1991-1997 zastępca Komendanta Instytutu Optoelektroniki. Opublikował ponad 140 artykułów i referatów konferencyjnych. Autor i współautor 19 wdrożeń i 12 patentów. Od 2000 roku profesor Wojskowej Akademii Technicznej.



e-mail: hmadura@wat.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono stanowisko pomiarowe do wyznaczania wymiarów kątowych stref detekcji i pomiaru czasu reakcji pasywnych czujników podczerwieni. Umożliwia ono pomiar tych kątów w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Jest stosowane do weryfikacji zgodności zakładanych w projekcie parametrów układu optycznego czujnika z parametrami wykonanych czujników. Stanowisko może być stosowane w zakładzie produkcyjnym do wyznaczania parametrów różnego typu czujników PIR.

Słowa kluczowe: Czujniki PIR, systemy ochrony

Experimental evaluation of detection zones of PIR detectors used in security systems

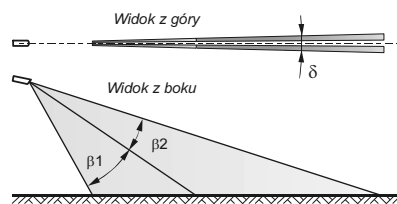
Abstract

The paper presents a project of a test bed designed to evaluate angular parameters of detection zones and time response of PIR sensors. The test bed is especially suited for measurements of angular width of detection zones of various PIR sensors. Furthermore, it can be used in experimental verification of the design and manufacturing quality of PIR sensor's optical system.

Keywords: PIR detector, security systems

1. Wprowadzenie

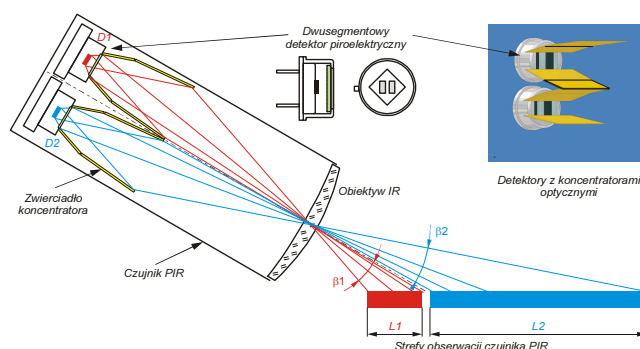
Pasywne czujniki podczerwieni (detektory PIR) stosowane w systemach ochrony obiektów mają (odpowiednio do swojego przeznaczenia) zorientowane w przestrzeni strefy wykrywania nazywane również strefami detekcji lub strefami dozoru [1]. Przykładowe rozmieszczenie w przestrzeni stref detekcji czujnika podczerwieni przedstawiono na rys. 1. W każdej strefie detekcji czujnik wykrywa zmianę mocy promieniowania podczerwonego. Zmiana taka może nastąpić w wyniku wejścia intruza (obiektu) w strefę detekcji. Po analizie sygnału z detektora, zgodnie z odpowiednim algorytmem uwzględniającym wartość sygnału elektronicznego oraz szybkość jej zmiany w czasie, następuje porównanie uzyskanych danych z danymi progowymi czujnika [2] i w przypadku przekroczenia ich wartości sygnalizowany jest alarm.



Rys. 1. Rozmieszczenie stref detekcji czujnika podczerwieni: β_1 , β_2 - wymiary kątowe stref detekcji w kierunku pionowym, δ - wymiar kątowy strefy detekcji w kierunku poziomym

Fig. 1. Detection zones of IR sensor: β_1 , β_2 - angular dimensions of detection zones in vertical plane, δ - angular dimension of detection zone in horizontal plane

W niektórych zastosowaniach czujniki PIR muszą mieć specjalnie ukształtowaną charakterystykę kątową (np. czujniki PIR o wydłużonej strefie detekcji). Odpowiednią charakterystykę kątową uzyskuje się poprzez dobór parametrów obiektywu detektora PIR, odpowiednie rozmieszczenie detektorów piroelektrycznych w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu (rys. 2) oraz odpowiednie ustawienie dodatkowych zwierciadeł, tzw. koncentratorów optycznych [3].



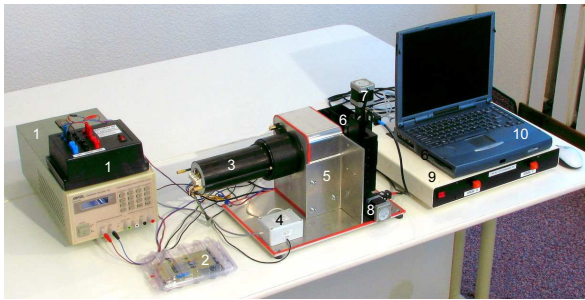
Rys. 2. Schemat optyczny czujnika i stref detekcji w płaszczyźnie pionowej w układzie dwóch detektorów ze zwierciadłami koncentratorkami optycznymi (L1, L2 - liniowe rozmiary stref detekcji w terenie)

Fig. 2. Optical system of PIR detector with two sensors and its detection zones (L1, L2 - lengths of detection zones)

Aby sprawdzić zgodność zakładanych wartości parametrów zaprojektowanego układu optycznego czujnika, tj. oczekiwanych wielkości kątowych dla poszczególnych stref wykrywania z ich wartościami w badanym egzemplarzu czujnika, należy wykonać pomiary wartości tych parametrów na specjalnym stanowisku pomiarowym.

2. Stanowisko pomiarowe

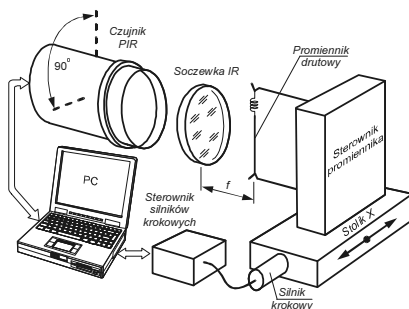
Zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze umożliwiające pomiary poziomej i pionowej charakterystyki kątowej czujnika PIR oraz czasu reakcji czujnika na impulsową zmianę mocy promieniowania podczerwonego. Zdjęcie wykonanego stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe do wyznaczania parametrów stref detekcji czujników PIR: 1 - zasilacze, 2 - sterowany cyfrowo generator prądowy do promiennika podczerwieni, 3 - badany czujnik, 4 - sprzęg czujnika, 5 - korpus kolimatora, 6 - promiennik podczerwieni, 7, 8 - stoliki przesuwne X-Y, 9, 10 - komputer i układy sterowania
Fig. 3. Test set-up for measurements of detection zones of a PIR detector: 1 - power supplies, digitally-controlled current pulse generator, 3 - tested detector, 4 - interface, 5 - collimator, 6 - IR emitter, 7, 8 - motorized X-Y tables, 9 - controll unit, 10 - computer

Schemat blokowy stanowiska przedstawiono rys. 4. Składa się ono z refrakcyjnego projektora (kolimatora) promieniowania podczerwonego z soczewką germanową, źródła tego promieniowania zasilanego impulsowo z cyfrowego generatora prądowego, zespołu stolików X-Y z silnikami krokowymi, sterownika silników krokowych oraz komputera z oprogramowaniem do sterowania pomiarem i rejestracją zdigitalizowanego sygnału analogowego z detektorów promieniowania podczerwonego.

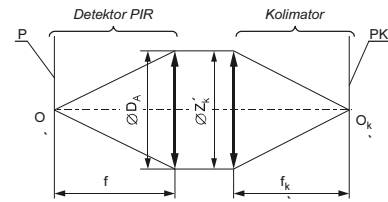
Układ projektora został zaprojektowany tak, aby rzutował obraz źródła promieniowania podczerwonego na płaszczyznę detektorów. Jeżeli to źródło (o zadanej temperaturze) będzie przesuwane ze znaną prędkością, to może symulować przemieszczający się obiekt w strefie detekcji czujnika [4].



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do wyznaczania stref detekcji czujników PIR
Fig. 4. Block diagram of test set-up for measurements of detection zones of a PIR detector

W celu zapewnienia wymaganych parametrów optycznych, zestawiono refrakcyjny projektor promieniowania podczerwonego z obiektywem o ogniskowej f_k i średnicy źrenicy wejściowej Z_p , zgodnej wymiarowo ze średnicą obiektu badanych czujników PIR. Testowany czujnik PIR jest umieszczony przed projektorem podczerwieni i wypozyjonowany tak, aby osie optyczne projekto-

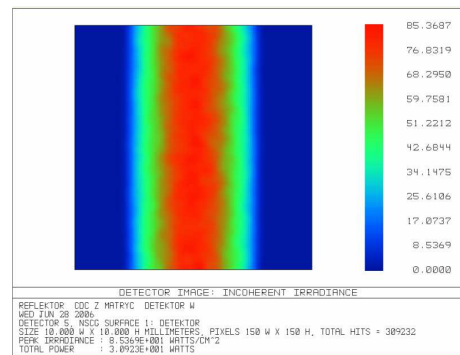
ra i czujnika leżały na jednej prostej. W zestawionym układzie obraz płaszczyzny ogniskowej PK nakłada się na płaszczyznę ogniskową czujnika P , z powiększeniem równym ujemnemu stosunkowi ogniskowych f_k i f . Schemat toru optycznego projektora i czujnika przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat toru optycznego stanowiska pomiarowego do wyznaczania stref detekcji czujników PIR

Fig. 5. Optical system used in test set-up for measurements of detection zones of a PIR detector

W płaszczyźnie ogniskowej projektora podczerwieni jest umieszczony promiennik podczerwieni z drutu oporowego. Poprzeczny wymiar kątowy zastosowanego promiennika wynosi 0,33 mrad. Można obliczyć, że poprzeczny wymiar kątowy obrazu promiennika na płaszczyźnie ogniskowej czujnika PIR nie przekracza 0,5 mrad w całym polu widzenia badanego urządzenia. Obliczenia potwierdzają wyniki analizy aberracyjnej układu czujnik – projektor, przeprowadzonej za pomocą oprogramowania ZEMAX firmy Focus Software. W tym oprogramowaniu zamodelowano powyższy układ optyczny i poddano analizie rozkład gęstości mocy promieniowania promiennika na powierzchni poszczególnych detektorów czujnika, po przejściu przez jego elementy optyczne. Przykładowe wyniki analizy przedstawiono rys. 6.



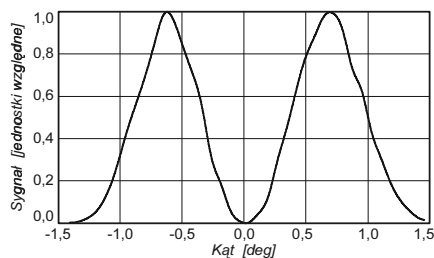
Rys. 6. Rozkład gęstości mocy promieniowania podczerwonego promiennika drutowego w płaszczyźnie detektora (na tle prostokątnej powierzchni fotoczułej detektora) wyznaczony programem ZEMAX

Fig. 6. Power distribution of IR radiation emitted by wire IR emitter (simulated in Zemax software)

3. Pomiar rozkładów kątowych stref czułości czujnika PIR

W celu określenia rozkładu kątowego stref czułości czujnika PIR, promiennik jest ustawiany w płaszczyźnie PK , prostopadle do osi optycznej projektora w dwóch kierunkach: w poziomie – tj. w kierunku X i w pionie – tj. w kierunku Y. Zmianę kierunku skanowania z X na Y uzyskuje się poprzez obrót czujnika wzdłuż jego osi o kąt $\pi/2$. Po ustawieniu położenia kątowego źródło podczerwieni jest zasilane impulsowo z cyfrowego generatora prądowego. Częstotliwość impulsów zasilających promiennik i czas trwania impulsów są regulowane i kontrolowane przez układ mikroprocesorowy. Zastosowane stoliki X-Y umożliwiają przemieszczanie promiennika w kącie 333 mrad z rozdzielczością 0,02 mrad.

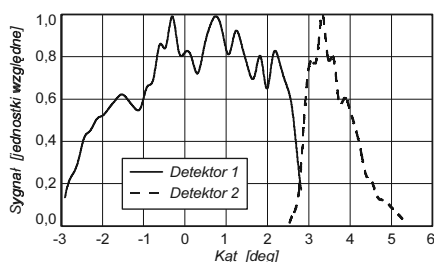
Przykład kątowego rozkładu czułości w płaszczyźnie poziomej czujnika podczerwieni (dla jednego detektora piroelektrycznego) przedstawiono na rys. 7. Zarejestrowane wartości amplitud sygnału dla badanego detektora unormowano do wartości maksymalnej. Dwa symetryczne obszary czułości wynikają z dwóch powierzchni fotoczułych detektora piroelektrycznego.



Rys. 7. Przykład kąтового rozkładu czułości detektora piroelektrycznego w płaszczyźnie poziomej

Fig. 7. Angular characteristics of a PIR sensor in horizontal plane

Zmiany czułości w kierunku Y są ściśle związane z orientacją przestrzenną zwierciadeł koncentratorów optycznych. Na rys. 8 przedstawiono kątowy rozkład czułości dla dwóch detektorów piroelektrycznych w kierunku pionowym. Kąty o wartościach dodatnich – oznaczają położenie strefy czułości powyżej, a o wartościach poniżej osi optycznej czujnika.



Rys. 8. Przykład kąтового rozkładu czułości detektorów piroelektrycznych w kierunku pionowym

Fig. 8. Angular characteristics of a PIR sensor in vertical plane

Szerokość stref detekcji (liniową lub kątową) można również wyznaczyć w badaniach terenowych. W tym celu, na określonej odległości, wyznacza się szerokość strefy detekcji. Najdokładniej wykonuje się taki pomiar poprzez wsuwanie w strefę detekcji źródła ciepła o małych wymiarach (np. palnik gazowy) i rejestrowanie sygnału alarmu. Wyniki tych badań, dotyczące szerokości kątowej poszczególnych stref detekcji, zamieszczono w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki badań szerokości kątowej stref detekcji

Tab. 1. Measured values of angular dimensions of detection zone

Detektor	Szerokość kątowa strefy detekcji		Błąd względny
	Pomiar laboratoryjny	Pomiar w terenie	
1	1,12°	1,1°	1.8%
2	2,97°	2,9°	2.4%

Porównanie wyników pomiarów przeprowadzonych w terenie oraz wyników badań laboratoryjnych wykazuje niewielkie różnice. Największy błąd wartości szerokości strefy detekcji występuje dla 2 kanału pomiarowego. Detektor podczerwieni wykrywa w tym kanale promieniowanie w najdalszej strefie. Oznacza to, że poziomy sygnałów są najmniejsze, a tym samym wpływ fluktuacji tła jest największy oraz wymagane wzmocnienie w torze elektronicznym jest największe. Są to dwa główne czynniki odpowiedzialne za zawężenie (przy przyjętym kryterium) zmierzonych w warunkach zewnętrznych pola obserwacji. Należy wnioskować, że pomiary pola widzenia czujników PIR powinny być dokonywane w warunkach laboratoryjnych. Stosując do badań zaproponowane stanowisko pomiarowe można wyznaczyć charakterystyki kątowe czujnika z dużą precyzją, uzyskaną dzięki brakowi wpływu promieniowania tła oraz precyzyjnemu pozycjonowaniu wymuszającego źródła podczerwieni.

4. Pomiar czasu reakcji

Jednym z ważnych parametrów czujników pracujących w systemach ochrony jest czas reakcji, który definiowany jest jako czas

od wystąpienia naruszenia dowolnej strefy chronionej do chwili wystąpienia stanu alarmowego na wyjściu czujnika. W specyfikacji czujnika podawana jest maksymalna dopuszczalna wartość tego parametru. Dla opracowanych w IOE rodziny czujników czas ten wynosi ok. 100ms i jest to typowa wartość dla urządzeń pracujących w systemach ochrony.

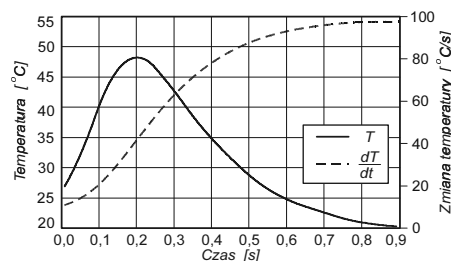
Czas reakcji jest sumą czasu z opóźnień w torze elektronicznym oraz czasu potrzebnego na analizę danych według zadanego algorytmu. We współczesnych czujnikach, o rozbudowanych algorytmach przetwarzania danych ta druga składowa odgrywa istotną rolę. Złożony charakter źródeł opóźnień powoduje, że pomiar tego parametru jest wyjątkowo trudny. Głównym źródłem błędów jest brak możliwości dokładnego określenia chwili, w której nastąpiło przekroczenie przez sygnał wejściowy aktualnego poziomu odniesienia (poziomu alarmowego). Związane to jest z opóźnieniami w torze analogowym, przetwarzaniem sygnałów z postaci analogowej na cyfrową (zależnościami czasowymi), a przede wszystkim z czasem niezbędnym do wypracowania adaptacyjnych (automatycznie dopasowujących się do zmiennych warunków tła) poziomów alarmowych.

Czas reakcji czujnika charakteryzuje całe urządzenie i powinien być określony dla finalnego produktu bez ingerencji w jego strukturę wewnętrzną zarówno sprzętowej, przez wyprowadzenie dodatkowych sygnałów, jak i programowej przez modyfikację oprogramowania pozwalającą na transmisję dodatkowych danych. W celu pomiaru czasu reakcji zaproponowano zmodyfikowane pobudzenie optyczne czujnika. Optycznym wymuszeniem jest szybka zmiana temperatury promiennika ustawionego w środku strefy detekcji, przy czym temperatura promiennika powinna być znacznie wyższa niż dla typowych badań kątów stref detekcji. Przez szybką zmianę temperatury należy rozumieć zmianę o rząd wielkości większą niż maksymalna wykrywana przez czujnik. Sygnał optyczny o podanych cechach uzyskano przez impulsowe pobudzenie elektryczne drutowego promiennika podczerwieni. W tym celu wywołano impulsowy przepływ prądu przez promiennik drutowy wskutek rozładowania dużej pojemności, gdy jej jedynym obciążeniem była rezystancja drutu promiennika. Jako element kluczujący zastosowano tranzystor MOS o minimalnej rezystancji włączenia (poniżej 0,1Ω) i czasie załączenia (poniżej 1 μs), co pozwala pominąć wpływ czasu włączania klucza na wynik pomiaru.

Za sygnał odpowiedzi czujnika przyjmowany jest moment generacji sygnału alarmowego. Pomiar czasu reakcji czujnika przeprowadzono w położeniu kątowym promiennika podczerwieni odpowiadającym kanałowi (detektorowi) o najmniejszym wzmocnieniu.

Wymuszenie elektryczne w takim układzie ma kształt silnie nieliniowy ze względu na zmianę temperaturową rezystancji drutu promiennika podczerwieni a przede wszystkim zmianę napięcia na pojemności zasilającej.

Z tego też względu wyznaczono rzeczywisty przebieg zmian temperatury promiennika drutowego w funkcji czasu. Badanie wykonano przy użyciu szybkiej kamery termograficznej *ThermaCam SC3000* z rejestrując termogramy z częstotliwością 50Hz. Przebieg zmian wartości temperatury dla środkowej części promiennika zamieszczono na rys. 9.



Rys. 9. Nagrzewanie promiennika drutowego przy zasilaniu impulsowym - zmiana temperatury i szybkość jej zmian w czasie

Fig. 9. Heating of wire emitter with current pulse – temperature change and change rate versus time

Na podstawie wyznaczonej charakterystyki zmian temperatury obliczono szybkość zmian temperatury drutu w czasie (rys. 9). Zmiany temperatury drutu osiągają wartości rzędu 90°C/s .

Na podstawie pomiarów termowizyjnych określono odstęp czasu od momentu impulsowego wymuszenia do chwili rozpoczęcia nagrzewania się promiennika drutowego (opóźnienie wynika z pojemności cieplnej drutu). Czas ten wynosi 12 ± 1 ms.

W oparciu o badania termowizyjne i analizę toru detekcyjnego czujnika można określić, że różnica temperatury wywołująca sygnał na detektorze piroelektrycznym nastąpi po czasie około 6 ± 2 ms. Sumując dwa wymienione wyżej odstępy czasu należy stwierdzić, że sygnał na wyjściu detektora piroelektrycznego pojawi się dopiero po 18 ± 3 ms. Inaczej mówiąc, czas ten należy uwzględnić przy wyznaczaniu czasu reakcji czujnika PIR za pomocą omawianego stanowiska badawczego.

Po przeprowadzeniu badań kilku czujników PIR zmierzone czasy reakcji według zaproponowanej metody wynosiły około 76 ms. Otrzymane wyniki wskazują, że opracowany czujnik spełnia założone parametry czasowe.

5. Wnioski

Pole widzenia czujników PIR zostało określone trzema sposobami. Po pierwsze, przyjęto założenia dotyczące wielkości poszczególnych stref na etapie projektu i przeprowadzenia dla nich odpowiednie obliczenia. Następnie wartości te zostały zweryfikowane podczas pomiarów na stanowisku laboratoryjnym oraz w trakcie badań poligonowych. Podstawowym celem badań laboratoryjnych jest porównanie parametrów układu optycznego oraz zależności czasowych danego czujnika z założonymi przyjętymi podczas jego projektowania. Ponadto wartości nominalna tych

parametrów oraz zmierzona na stanowisku pomiarowym zostały poddane weryfikacji w czasie badań poligonowych. Impulsowe wymuszenie pozwala na pomiar czasu reakcji czujnika. Pomiar tego parametru w warunkach zewnętrznych nie jest w ogóle możliwy.

Dużą zgodność otrzymanych wyników potwierdza przydatność omawianego stanowiska pomiarowego do badania czujników PIR. Prezentowane stanowisko pomiarowe może być wykorzystane zarówno do weryfikacji nowo opracowanych konstrukcji czujników PIR jak i do ostatecznej kontroli ich jakości w czasie produkcji.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2006 (projekt badawczy).

6. Literatura

- [1] L. Graham - A single performance measure for pyrometer intruder detection systems. European Conference on Security and Detection, Conference Publication No. 437, Spain, 1997.
- [2] M. Kastek - Metoda wykrywania obiektów w systemach czujników podczerwieni o wydłużonej strefie detekcji. Rozprawa doktorska, Warszawa, Biblioteka Główna WAT, 2002.
- [3] H. Polakowski, M. Kastek, M. Morawski - Stanowisko do wyznaczenia kątów pola widzenia czujników podczerwieni. VI Krajowa Konferencja Termografia i Termometria w Podczerwieni, Ustroń-Jaszowiec, 4-6 listopada 2004.
- [4] H. Madura, Z. Sikorski, H. Polakowski, M. Kastek - Automated stand for measurement of parameters of long-range passive IR sensor. Quantitative Infrared Thermography 5, Reims France, pp. 118-121, 2000.

Artykuł recenzowany

NOMINACJE

Prof. dr inż. Albert A. Weckenmann z Uniwersytetu w Erlangen-Nürnberg Doktorem Honoris Causa Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej

W dniu 4 kwietnia 2006 odbyła się uroczystość nadania tytułu i godności Doktora Honoris Causa Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej Profesorowi Albertowi A. Weckenmannowi.

Prof. dr inż. Albert A. Weckenmann urodził się 23.07.1944 w Ettlingen koło Karlsruhe w Niemczech. Od 1992 jest kierownikiem Katedry Zarządzania Jakością i Metrologii Uniwersytetu w Erlangen – Nürnberg. Prowadzi badania podstawowe oraz prace badawcze dla przemysłu. W Jego Katedrze pracuje duży i liczący się w świecie zespół badawczy.

Działalność naukowa Profesora Alberta A. Weckenmanna obejmuje szeroki zakres metrologii i zarządzania jakością: metrologię współrzędnościową, pomiary powierzchni krzywoliniowych, zorientowane funkcjonalnie oprogramowanie ewaluacyjne maszyn pomiarowych, zagadnienia niepewności pomiarów, metrologię optyczną i akustyczną, metrologię w obszarach mikro- i nanotechnologii.

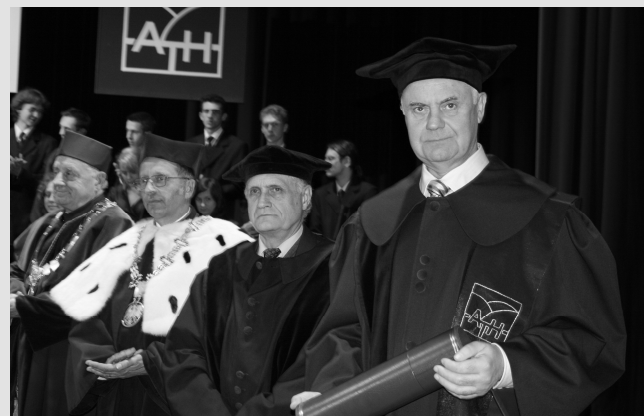
Profesor Albert A. Weckenmann jest wybitnym uczonym w dziedzinie metrologii i cenionym badaczem o europejskim autorytecie w obszarze współrzędnościowej techniki pomiarowej.

Profesor jest projektodawcą i twórcą bardzo nowoczesnego laboratorium metrologicznego o parametrach umożliwiających pomiary o bardzo wysokiej dokładności.

Profesor Albert A. Weckenmann działa jako przewodniczący i członek licznych organizacji i komitetów naukowych międzynarodowych konferencji (m.in. IMEKO, CIRP), a także władz akademickich. W roku 2003 otrzymał godność Doktora Honoris

Causa Uniwersytetu w Cluj-Napoca w Rumunii. Jest autorem i współautorem wielu publikacji i książek naukowych. M. in. monografii „Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – podręcznik europejski”, którą w 2004 roku opublikowały wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Profesor Weckenmann od ponad ośmiu lat ściśle współpracuje z Akademią Techniczno-Humanistyczną w Bielsku-Białej.



Z1 Na zdjęciu od prawej Profesor Albert Weckenmann – Doktor Honoris Causa Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, promotor prof. dr hab. inż. Jan Szadkowski oraz opiniodawcy – prof. Józef Gawlik i prof. Stanisław Adameczak