

Mgr inż. Wojciech Klimasara  
Mgr inż. Marek Ludwiński  
Mgr inż. Marek Pachuta  
Mgr inż. Zbigniew Pilat  
Mgr inż. Marcin Słowikowski  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP  
02-486 Warszawa, Al. Jerozolimskie 202

## **ZAUTOMATYZOWANE STANOWISKO DO BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI I PARAMETRÓW OPTOELEKTRONICZNYCH URZĄDZEŃ OCHRONNYCH**

*W referacie przedstawiono zautomatyzowane stanowisko badawcze stanowiące wyznik realizacji zadania badawczego pt.: "System automatyzacji badań właściwości i parametrów optoelektronicznych urządzeń ochronnych", wykonanego w PIAP na zlecenie Centralnego Instytutu Ochrony Pracy-Państwowego Instytutu Badawczego (CIOP-PIB). Opracowane i wykonane w PIAP stanowisko badawcze stanowi system umożliwiający wykonywanie w sposób zautomatyzowany testów optoelektronicznych urządzeń ochronnych, między innymi kurtyn świetlnych oraz skanerów laserowych wg procedur opisanych w normie PN-EN 61496-1:2001.*

## **AUTOMATED TEST STAND FOR INVESTIGATIONS OF PROPERTIES AND PARAMETERS OF OPTOELECTRONIC PROTECTIVE EQUIPMENTS**

*The automated test stand for investigations of properties and parameters of the optoelectronic protective equipments is presented in this paper. It was designed and builded within the research task: "Automated system for investigations of properties, and parameters of optoelectronic protective equipments", that has been performed by Industrial Research Institute for Automation and Measurements (PIAP). This research task has been ordered by the Central Institute for Labour Protection-National Research Institute (PIAP-CIOP). Mentioned stand enables performing in the automatic mode, tests of electro-sensitive protective equipments, such the electronic curtains or the laser scanners acc. to the standard PN-EN 61496-1:2001.*

### **1. WSTĘP**

#### **1.1. Obiekt badań**

Potrzeba opracowania i budowy systemu automatyzacji badań optoelektronicznych urządzeń ochronnych wynika z unormowań polskich oraz unijnych odnoszących się do badań urządzeń bezpieczeństwa. Przepisy Unii Europejskiej zawarte w Dyrektywie

Maszynowej, które zostały wdrożone do prawa polskiego nakazują szczegółowe wykonywanie badań urządzeń ochronnych w celu potwierdzenia ich parametrów użytkowych. Wymagania dotyczące badań tych urządzeń są zawarte w normie [4].

W optoelektronicznych urządzeniach ochronnych są badane:

- czułość i zdolność detekcji,
- geometria strefy wykrywania i dokładność zakresu wykrywania,
- wpływ czynników środowiskowych na zdolność detekcji,
- nienaruszalność zdolności detekcji,
- czas zadziałania.

Czas zadziałania jest najbardziej istotnym parametrem optoelektronicznego urządzenia ochronnego.

Wyznaczenie czasu zadziałania wymaga wielokrotnych pomiarów wykonywanych na specjalistycznym stanowisku badawczym. Opracowanie takiego stanowiska wraz z oprogramowaniem tworzących system automatyzacji badań optoelektronicznych urządzeń ochronnych było przedmiotem zadania badawczego zrealizowanego na zamówienie Centralnego Instytutu Ochrony Pracy-Państwowego Instytutu badawczego. Obiektem badań wykonywanych na opisywanym stanowisku jest optoelektroniczne urządzenie ochronne w postaci kurtyny świetlnej lub skanera laserowego. Skaner laserowy jest urządzeniem ochronnym stosowanym zarówno do aplikacji stacjonarnych dla ochrony niebezpiecznych obszarów względnie jako czujnik mobilny dla ochrony pojazdów bezobsługowych AGV ( ang. Automatic Guided Vehicle ). Będąc autonomiczną jednostką skaner monitoruje swoje otoczenie. Kontury pola ochronnego są definiowane przez użytkownika w zależności od kształtu niebezpiecznego obszaru. Użytkownik wprowadza parametry określające pole ochronne, programując sterownik skanera. Wiązka podczerwona światła laserowego dostrzega przedmioty lub osoby w polu działania i uruchamia funkcje ochronne względnie nawigacyjne. Obiekty dostrzeżone poza polem ochronnym są ignorowane. Bezdotykowe urządzenia ochronne nie mają tych ograniczeń w zastosowaniu, które występują przy osłonach mechanicznych.

Skanery laserowe znalazły szerokie zastosowanie jako bezdotykowe urządzenie ochronne

że względu na szereg zalet takich jak:

- prosta instalacja,
- elastyczność w definiowaniu kształtu pola wykrywania,
- przyjazne dla operatora uruchomienie i łatwe, programowe kształtowanie strefy wykrywania zgodnie z potrzebami użytkownika,
- możliwość wcześniejszego ostrzegania co zabezpiecza przed przypadkowym wyłączeniem maszyn i urządzeń,
- dużą elastyczność w konfigurowaniu funkcji skanera w połączeniu z nadrzędnymi strukturami sterowania instalacją (sterownikami logicznymi, zintegrowanymi systemami bezpieczeństwa, komputerami sterującymi).

## 1.2 Metoda podwójnego wnikania

W badaniach czasu zadziałania optoelektronicznych urządzeń ochronnych, prowadzonych w omawianym stanowisku, wykorzystuje się metodę podwójnego wnikania.

Została ona opracowana w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy i jest zaprezentowana szczegółowo w pracach [1]+[3]. W metodzie tej przewiduje się dwie fazy postępowania badawczego:

- w fazie pierwszej, polegającej na bardzo wolnym wnikanii próbnika testowego w strefę wykrywania, gdzie celem jest wyznaczenie położenia granicy obszaru wykrywania,
- w fazie drugiej polegającej na szybkim wnikanii jest dokonywany pomiar czasu zadziałania skanera laserowego.

W fazie wolnego wnikanii zewnętrzny sygnał startowy uruchamia ruch próbnika testowego z bardzo małą prędkością i zeruje wskazanie układu pomiarowego w momencie nadejścia sygnału z badanego urządzenia ochronnego. W fazie tej prawdopodobieństwo wczesnego wykrycia obszaru wykrywania jest bardzo wysokie ze względu na wielokrotne, bardzo częste skanowanie położenia próbnika testowego.

W fazie szybkiego ruchu (rzędu 2m/s), w chwili gdy próbnik znajdzie się w pozycji odpowiadającej wnikanii w obszar wykrywania, rozpoczyna się odmierzenie czasu upływającego do chwili zadziałania elementu wykonawczego urządzenia ochronnego.

Czasy reakcji urządzeń ochronnych w tym skanerów laserowych wahają się od kilkudziesięciu do kilkuset ms.

Ponieważ czasy reakcji są bardzo krótkie, wymagania stawiane systemowi automatyzacji badań są wysokie ze względu na:

- wymagany duży zakres prędkości ruchu próbnika testowego,
- konieczny, bardzo krótki czas reakcji systemu badań przy realizacji pomiarów krótkich odcinków czasu (rzędu ms).

## 2. OPIS SYSTEMU AUTOMATYZACJI BADAŃ

System automatyzacji składa się z następujących podsystemów:

- A. Podsystem manipulacyjny oraz sterowania i napędów
- B. Podsystem oprogramowania

### 2.1. Podsystem manipulacyjny oraz sterowania i napędów

#### 2.1.1. Manipulator

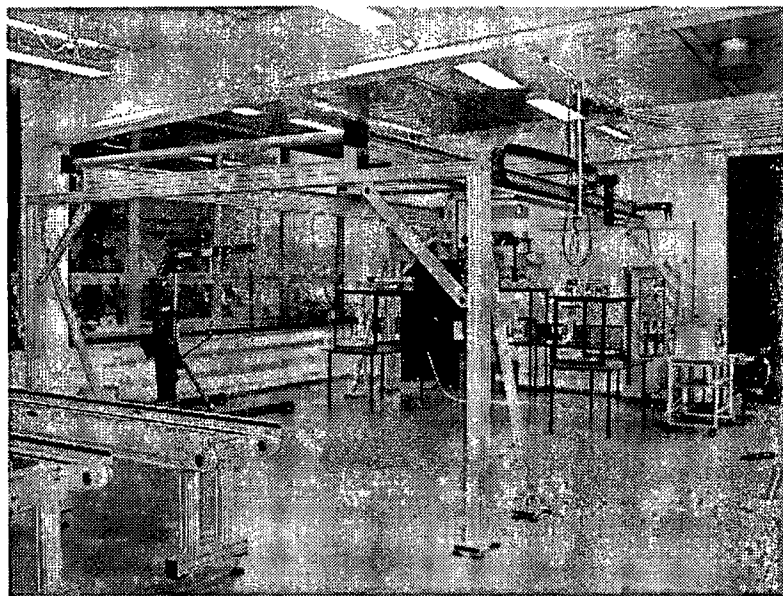
Manipulator umożliwia realizację ruchu przestrzennego próbnika testowego w kartezjańskim układzie współrzędnych.

Zakres ruchu próbnika wynosi: w osi X: 5.050mm, osi Y: 1.860mm, osi Z: 330mm.

Zakresy nastawianych prędkości podczas pracy automatycznej wynoszą w poszczególnych osiach:

- X: 1mm/min÷60.000mm/min (1m/s) z rozdzielczością 1mm/min,
- Y: 1mm/min÷60.000mm/min (1m/s) z rozdzielczością 1mm/min,
- Z: 1mm/min÷150.000mm/min (2.5m/s) z rozdzielczością 1 mm/min.

Manipulator jest przestawiony na Rys. 1:



Rys. 1 Stanowisko do badań optoelektronicznych urządzeń ochronnych.  
Manipulator systemu

Zakresy ruchów w osiach X i Y (ruch poziomy) wynikają z rozmiarów dostępnych elementów handlowych z których budowany jest podsystem manipulacji oraz wielkości pomieszczenia laboratorium badawczego zleceniodawcy (CIOP-PIB).

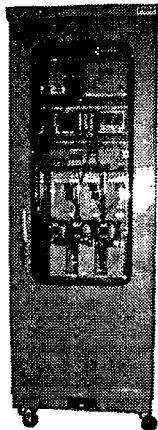
Konstrukcja manipulatora została wykonana z profili aluminiowych systemu ITEM. Przeniesienie napędu od silników odbywa się przez obiegowe, redukcyjne przekładnie zębate oraz pasowe przekładnie zębate. Ze względu na wymagane parametry ruchu, a w tym potrzebę realizacji ruchów bardzo wolnych oraz bardzo szybkich zastosowano silniki oraz serwowzmacniacze firmy Mitsubishi Electric, które umożliwiają spełnienie założonych wymagań. W osi Z (ruch. wnikania próbника) został zastosowany dodatkowy, zewnętrzny, precyzyjny system pomiaru przemieszczenia liniowego firmy Heidenhain.

Układ sterowania został umieszczony w szafie sterowniczej o wymiarach 60x60x160 cm pokazanej na Rys.2. W skład układu sterowania wchodzi następujące zespoły funkcjonalne:

- zespół pomiaru czasu reakcji skanera,
- zespół sterownika PLC,
- zespół serwowzmacniaczy,
- zespół styczników i przekaźników,
- zespół bezpieczników,
- zespół złącz,
- pulpit,
- transformator.

Zespoły umieszczone są na płycie montażowej przykręconej do ramy szafy.

Układ jest zasilany prądem trójfazowym o napięciu 3x380V. Transformator sieciowy służy do zmiany wartości napięcia przemiennego z 3x380V na 3x220V wymaganego przez serwowzmacniacze MR-J2S-200A firmy Mitsubishi Electric. Każdy serwowzmacniacz jest zabezpieczony niezależnie bezpiecznikiem 20A. Ponadto serwowzmacniacze są wyposażone w filtry przeciwzakłóceńowe.

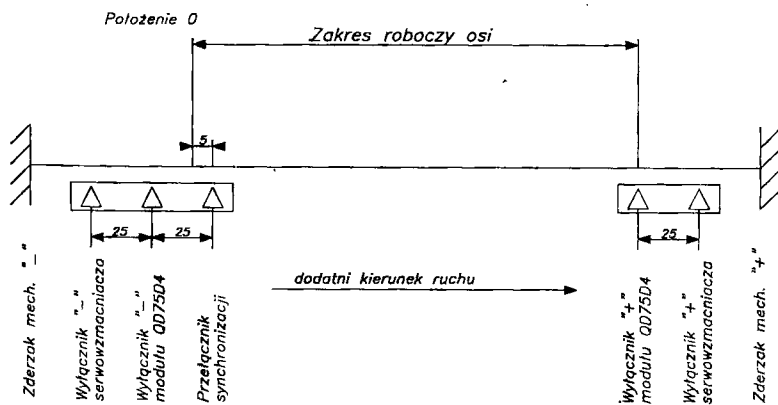


Rys. 2 Szafa sterownicza zautomatyzowanego stanowiska badawczego

### 2.1.2. Podsystem sterowania ruchami manipulatora

W każdej osi manipulatora zostały zastosowane wyłączniki krańcowe.

Ich wzajemne położenie wzdłuż pojedynczej osi jest pokazane na Rys. 3 i 4.



Rys. 3 Schemat rozmieszczenie przełączników krańcowych

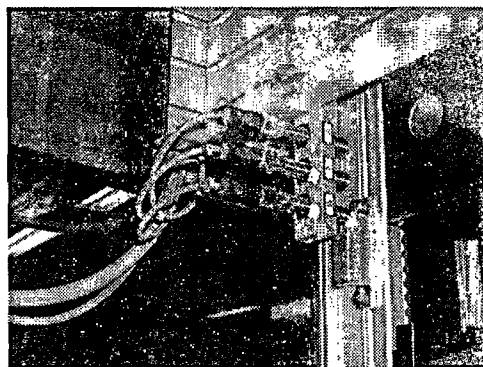
Para wyłączników położonych najbardziej na zewnątrz zakresu ruchu jest przyłączona bezpośrednio do serwowzmacniaczy. Podczas normalnej, bezawaryjnej pracy manipulatora wyłączniki te nie powinny być przełączane. Ich przełączenie (otwarcie)

powoduje zablokowanie pracy serwowzmacniacza w danym kierunku ruchu. Sytuacja taka może wystąpić tylko w przypadku awarii serwonapędu.

Para wyłączników krańcowych położonych wewnątrz poprzedniej pary wyłączników jest przyłączona do modułu pozycjonującego i służy do ograniczenia zakresu ruchu osi podczas ręcznego sterowania. W strefie pomiędzy tymi wyłącznikami ruch w pracy ręcznej może odbywać się ze stałą, nastawialną prędkością. Po dojściu mechanizmu w pracy ręcznej do tego wyłącznika i jego przesterowaniu (otwarciu), ruch w danej osi jest zatrzymywany z ustawionym jako parametr opóźnieniem i jest generowany sygnał błędu. W tym stanie jest możliwe ręczne inicjowanie ruchu jedynie w kierunku do zakresu roboczego, po czym sygnał błędu jest kasowany automatycznie przez program PLC. Ponieważ przy otwartym jednym z tych wyłączników nie jest możliwa realizacja ruchu w pracy automatycznej, więc wyłączniki te praktycznie wyznaczają zakres roboczy ruchu w danej osi dla pozycjonowania w pracy automatycznej. Wystąpienie sygnału błędu jest sygnalizowane na module sterownika oraz na ekranie monitora komputera PC.

Położenie zerowe osi jest wyznaczane w wyniku operacji synchronizacji, podczas której mechanizm w danej osi porusza się w kierunku ujemnym (to znaczy w kierunku przełącznika synchronizacji). Po zmianie stanu przełącznika (tzn. jego zamknięciu) jest wykonywany ruch w danej osi na drodze 5mm a następnie następuje jego zatrzymanie. Jest to tzw. położenie zerowe osi. Funkcja synchronizacji musi być wykonana po włączeniu układu, gdyż bez zsynchronizowania osi nie jest możliwe wykonywanie operacji pozycjonowania. Jest możliwe w tym przypadku jedynie poruszanie osi w pracy ręcznej. Położenie zerowe w manipulatorze znajduje się w narożniku manipulatora obok układu sterowania i przy podniesionym suwaku osi Z.

Przełączniki są zamocowane na wspólnym wsporniku na końcach zakresu ruchu w każdej osi (Rys. 3). Odległość między przełącznikami wynosi 25mm



Rys. 3 Rozmieszczenie wyłączników krańcowych

### 2.1.3 Uzyskane parametry dynamiczne ruchu

W osiach X i Y, które nie biorą bezpośrednio udziału przy pomiarze czasu reakcji skanera/ kurtyny na pojawienie się w skanowanym obszarze próbnika, ustalono jako parametry jednakowe prędkości maksymalne oraz przyspieszenia. Prędkość maksymalną ustawiono na 0.7 m/s (42 000 mm/min). Aby uniknąć dużych uderzeń mechanicznych, czas rozpędzania/ hamowania ustawiony został na 400ms. Parametry te

nie mają żadnego wpływu na wynik pomiaru czasu reakcji skanera/ kurtyny. Rozdzielczość pozycjonowania w osiach X i Y wynosi 0.1mm.

Ze względu na krótki zakres ruchu osi Z (330mm) i konieczność uzyskania stabilnej prędkości maksymalnej 2.5 m/s, przebieg prędkości zadanej przyjęto jako trapezoidalny z czasami rozpędzania i hamowania wynoszącymi 60ms, co przy drodze 330 mm daje czas stabilnej prędkości wynoszący 60ms. Droga wykonywana w osi Z ze stabilną prędkością wynosi w tym przypadku 150mm.

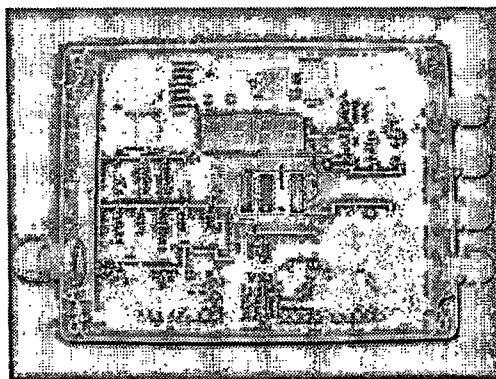
Do napędzania suwaka w osi Z został dobrany silnik HC-RFS-103B firmy Mitsubishi Electric, o momencie nominalnym 3.18Nm i maksymalnym 7.95Nm. Przy doborze wielkości silnika posłużono się m.in. programem symulacyjnym SETUP121 firmy Mitsubishi Electric. Dobierając parametry serwowzmacniacza MR-J2S-200A uzyskano (przy założeniu w/w wymuszenia trapezoidalnego prędkości) przebiegi prędkości rzeczywistej silnika i momentu rozwijanego przez silnik bardzo zbliżone do założonych.

## 2.2. Układ pomiaru czasu reakcji urządzenia ochronnego

Czas zadziałania urządzenia ochronnego jest mierzony bezpośrednio w układzie pomiarowym opracowanym i wykonanym w PIAP.

Układ jest zbudowany na bazie sterowników PLC serii Q. W osi Z stanowiska za przekładnią redukcyjną został zainstalowany dodatkowy czujnik położenia osi Z. Jest nim linią pomiarową LIM 517 firmy Heidenhain generujący podczas ruchu osi impulsy o gęstości 1impuls/40 $\mu$ m. Sygnał impulsowy z linią jest podawany do układu pomiarowego, w którym impulsy są zliczane w liczniku rewersyjnym. Stan licznika jest wyświetlany na wyświetlaczu. Praca układu pomiarowego jest sterowana dwoma wyjściami sterownika PLC.

Płytkę po zmontowaniu została zainstalowana w skrzynce z okienkiem, poprzez które jest widoczny wyświetlacz pokazujący w kodzie hexadecymalnym stan liczników zliczających impulsy z linią pomiarowego oraz dwie diody elektroluminescencyjne informujące o fazie wykonywanego pomiaru. Na Rys. 4 przedstawiono płytke układu pomiarowego po zdjęciu pokrywy skrzynki.



Rys. 4 Układ pomiaru czasu reakcji skanera

Testy funkcjonalne systemu wykazały, że błąd pomiaru czasu reakcji urządzenia ochronnego nie przekracza 1ms.

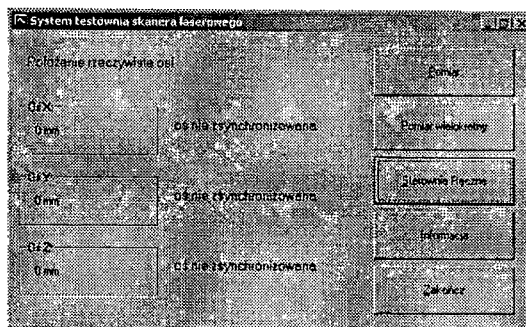
## 2.3. Oprogramowanie stanowiska na komputerze PC

Do komunikacji operatora ze stacją operatorską stanowiska został opracowany graficzny interfejs, bazujący na standardowych rozwiązaniach systemu Windows. Całe oprogramowanie stacji operatorskiej działa w środowisku Windows 2000. Do wykonania oprogramowania stacji operatorskiej stanowiska użyto oprogramowania Microsoft Visual Studio 6.0 oraz pakietu MX Components 3.02 ze sterownikiem programowym do PLC-Mitsubishi Easysocket Driver umożliwiającym komunikację.

### 2.3.1. Menu główne

Z poziomu menu głównego (Rys. 5) możemy za pomocą przycisków z prawej strony przejść do następujących okien/ funkcji programu:

- pomiar,
- pomiar wielokrotny,
- sterowanie ręczne,
- zakończ.



Rys. 5 Menu główne programu

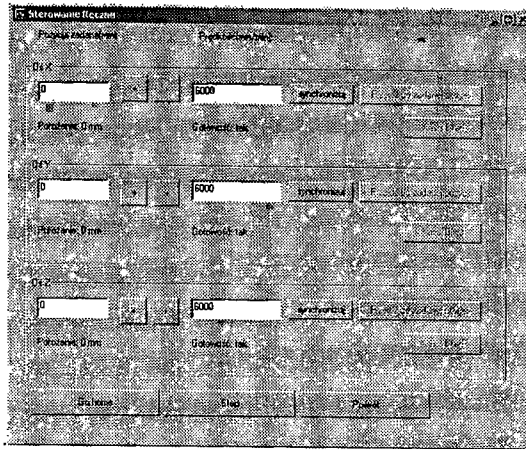
Dodatkowo w menu głównym są podawane informacje o położeniu poszczególnych osi oraz o ich synchronizacji.

### 2.3.2. Synchronizacja

Przed rozpoczęciem pracy należy zsynchronizować wszystkie osie manipulatora. Operacja ta jest realizowana w trybie „Sterowanie ręczne” (Rys. 6)

Dopiero po dokonaniu tej operacji możemy wykonywać polecenia realizacji ruchu. W tym celu należy wykonać operację „przejdź do zadanej pozycji”.

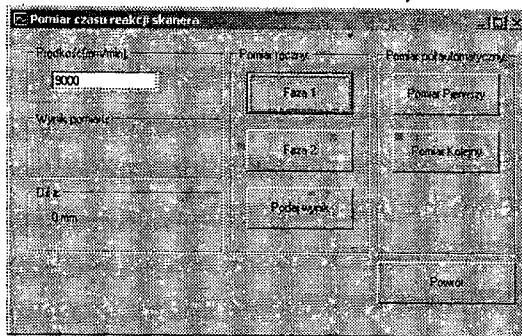




Rys. 6. Menu "sterowanie"

### 2.3.4. Pomiar czasu reakcji urządzenia ochronnego

Możliwy jest pomiar ręczny, (wielokrotny) półautomatyczny oraz automatyczny. Każda z opcji jest inicjowany z menu "Pomiar" (Rys. 7)



Rys. 7 Menu "pomiar"

Program wykonywany jest zdarzeniowo. Pozwala to na intuicyjną obsługę stanowiska. Pętla główna programu, która odpytuje sterownik o aktualne statusy i położenie poszczególnych osi, jest uruchamiana przez przerwanie zegarowe dziesięć razy na sekundę. Część informacji potrzebnych do działania programu jest przechowywana w bazie danych MS Access 2000. Program komunikuje się z bazą danych za pomocą programu "Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider".

## 3. PODSUMOWANIE

Zaprojektowane i wykonane w PIAP stanowisko do zautomatyzowanych badań właściwości i parametrów urządzeń ochronnych jest instalacją unikatową. Jego podstawową zaletą jest możliwość zaprogramowania wielokrotnych prób w tym samym miejscu obszaru skanowania. Spełnienie wymagań normy poprzez dokonywanie serii

pomiarów ręcznie byłoby niezwykle uciążliwe. Zaprezentowane stanowisko oferuje badaczom również bardzo wygodny sposób archiwizowania uzyskanych danych. Daje to zespołom badawczym gotowy materiał do dalszych analiz.

Stanowisko zostało opracowane w ramach prac naukowych i prac rozwojowych w ramach koordynowanego przez Centralny Instytut Ochrony Pracy– Państwowy Instytut badawczy (CIOP-PIB) programu wieloletniego pn. "Dostosowanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej".

Po zakończeniu projektu CIOP-PIB przejął stanowisko i zainstalował w swoim laboratorium badawczym. Tym samym stał się jedną z pierwszych, o ile nie pierwszą w Europie firmą, która ma faktyczne możliwości prowadzenia badań urządzeń ochronnych, a w tym skanerów laserowych zgodnie z normą PN-EN 61496-1:2001.

#### 4. LITERATURA

- [1] Dźwiarek, M.: Method for Response Time Measurement of Electrosensitive Protective Devices. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 2 No 3/1997 s. 234-242.
- [2] Dźwiarek, M.: Measurement Accuracy of Electrosensitive Protective Device Response Time When using the Double Penetration Method; *International Journal of Occupational Safety and ergonomics*, vol. 4. No. 3/1998, s. 363-384.
- [3] Strawiński, T: Wpływ strefy tolerancji na pomiar czasu zadziałania laserowego urządzenia ochronnego (skanera), *Prace konferencji AUTOMATION 2001*, s. 350-355.
- [4] PN-EN 61496-1:2001 Bezpieczeństwo maszyn. Elektroczułe wyposażenie ochronne. Część 1: Wymagania ogólne i badania.
- [5] Materiały firmowe: Mitsubishi Electric, Alpha, ITEM, Sick.