

Bolesław DOBROWOLSKI, Marek KRÓTKIEWICZ  
Wyższa Szkoła Inżynierska, Opole

## ZASTOSOWANIE METOD PRZETWARZANIA I ROZPOZNAWANIA OBRAZÓW W DIAGNOSTYCE VIDEOENDOSKOPOWEJ ELEMENTÓW URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono możliwość rozszerzenia zakresu badań endoskopowych urządzeń energetycznych poprzez zastosowanie metod przetwarzania i rozpoznawania obrazów. Zaproponowano konfigurację sprzętową oraz sformułowano główne założenia oprogramowania do obróbki cyfrowej i analizy wyników badań endoskopowych. Podano przykłady badań testowych videoendoskopu oraz przeanalizowano możliwość dodatkowych pomiarów na zarejestrowanych obrazach.

## APPLICATION OF THE METHODS OF PROCESSING AND RECOGNITION OF THE PICTURE IN VIDEOENDOSCOPE DIAGNOSTICS OF ELEMENTS FOR POWER ENGINEERING EQUIPMENT

**Summary.** In the paper possibilities of more widen application of endoscopic testing for power engineering equipment by methods of picture processing and recognition have been discussed. A hardware configuration has been proposed and the main assumptions of software for digital processing as well as analysis of the results obtained from endoscope testing have been formulated. Some examples of endoscope testing have been given and possibilities of additional measurements on the picture registered have been analysed.

## ANWENDUNG VON BILDVERARBEITUNGS – UND BILDERKENNUNGS METHODEN IN DEN ENDOSKOPISCHEN UNTERSUCHUNGEN VON ENERGETISCHEN ANLAGEN

**Zusammenfassung.** In der Arbeit wurde Möglichkeit einer Bereicherweiterung der endoskopischen Untersuchungen von energetischen Anlagen durch die Anwendung der Bildverarbeitungs und Bilderkennungs methoden. Es wurde eine Gerätekonfiguration

vorgeschlagen und Softwarehauptvoraussetzungen für die digitale Verarbeitung und Analyse von Ergebnissen der endoskopischen Untersuchungen formuliert. Es wurden Beispiele der Testuntersuchungen des Videoendoskops angeführt und Möglichkeit der zusätzlichen Messungen an den registrierten Bildern analysiert.

## 1. WSTĘP

W związku z intensywną eksploatacją bloków energetycznych następuje fizyczne zużycie elementów poddanych działaniu zmiennych w czasie naprężeń. Ubytek trwałości, jako efekt wpływu stanów przejściowych i niestabilnych, nie jest zwykle znany aż do momentu wystąpienia awarii. Stąd też, co podkreślano w pracy [6], istotne znaczenie mają prace w zakresie diagnostyki elementów urządzeń energetycznych, a zwłaszcza urządzeń instalacji ciśnieniowych.

W grupie metod badań diagnostycznych szeroko stosowane są metody optyczne (boroskopy, endoskopy, videoskopy) pozwalające na oględziny powierzchni i połączeń trudno dostępnych. Wymienić tu można badania otworów centralnych wałów, łopatek turbin, komór schładzaczy, rurociągów oraz wielu innych elementów urządzeń energetycznych. Oględziny stanu powierzchni, pozwalające na wykrycie defektów materiału lub połączenia, uzupełnione badaniami penetracyjnymi lub ultradźwiękowymi, dają możliwość oceny stanu technicznego diagnozowanego elementu oraz stanowią podstawę do podjęcia decyzji o dopuszczeniu do dalszej eksploatacji lub remoncie, ewentualnie wymianie elementu na nowy.

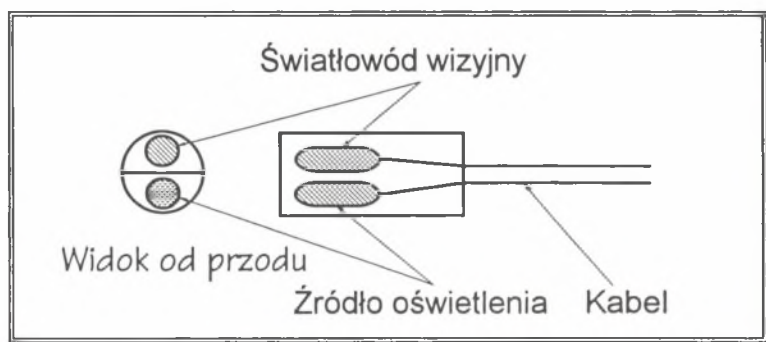
Przedmiotem niniejszej pracy jest koncepcja systemu komputerowego pozwalającego na rozszerzenie zakresu stosowalności metod endoskopowych poprzez dalsze przetwarzanie i analizę zarejestrowanych za pomocą magnetowidu wyników badań diagnostycznych.

## 2. IDEA ORAZ ZAKRES STOSOWALNOŚCI METOD ENDOSKOPOWYCH

Badania endoskopowe pozwalają na dotarcie do obszarów maszyn i urządzeń energetycznych, które są niedostępne dla oka ludzkiego. Badany obszar jest oświetlany przez wprowadzenie cienkiej wiązki światłowodów (rys. 1). Część światła zostaje odbita i trafia na wiązkę światłowodów optycznych, a otrzymany obraz jest przekazywany do okularu.

---

\*Pracę wykonano w ramach Grantu KBN PB 1550/3/91 realizowanego w Instytucie Elektrotechniki WSI w Opolu.



Rys. 1. Budowa sondy endoskopu

Fig. 1. A structure of the endoscope sonde

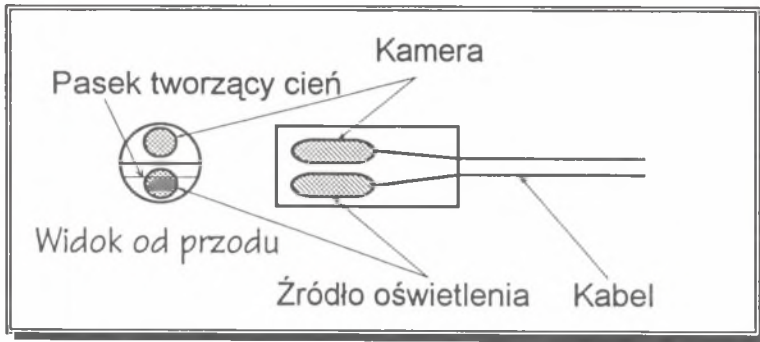
Bez dodatkowego wyposażenia metoda endoskopowa posiada szereg niedogodności:

- obraz ma niską rozdzielczość (ograniczona liczba punktów na jednostkę długości),
- jakość obrazu pogarsza się w miarę użytkowania endoskopu (możliwe mikrouszkodzenia mechaniczne światłowódów),
- obraz jest oglądany przez okular (co utrudnia równoczesną analizę obrazu przez kilka osób),
- brak możliwości zapisu obrazu technikami video (co w efekcie prowadzi do braku dokumentacji potwierdzającej diagnozę).

Większości ww. wad pozbawiony jest videoendoskop. Posiada on również szereg dodatkowych możliwości. Dzięki odpowiedniej konstrukcji sondy (rys. 2) obraz z mikrokamery jest przekazywany w postaci elektrycznego sygnału do specjalistycznego mikrokomputera, jak również może być zarejestrowany na kasecie video przy użyciu wchodzącego w skład zestawu magnetowidu.

Sonda pozwala na oświetlenie badanego obszaru oraz przekazywanie obrazu do mikrokomputera dzięki zainstalowanej wewnątrz mikrokamerze. Istotnym elementem sondy jest odpowiednia budowa układu oświetlającego (cienki pasek na płaszczyźnie czołowej, który tworzy cień), co pozwala w efekcie na określenie odległości płaszczyzny czołowej sondy od oglądanej powierzchni.

Zestaw videoendoskopowy pozwala na oglądanie obrazu z kamery na monitorze w sposób ciągły w czasie rzeczywistym. Możliwe jest ponadto przeprowadzanie pomiarów wybranych parametrów obrazu. Wadą metody videoendoskopowej jest wysoki koszt zestawu oraz konieczność przeprowadzania pomia-



Rys. 2. Budowa sondy videoendoskopu

Fig. 2. A structure of the videoendoscope sonde

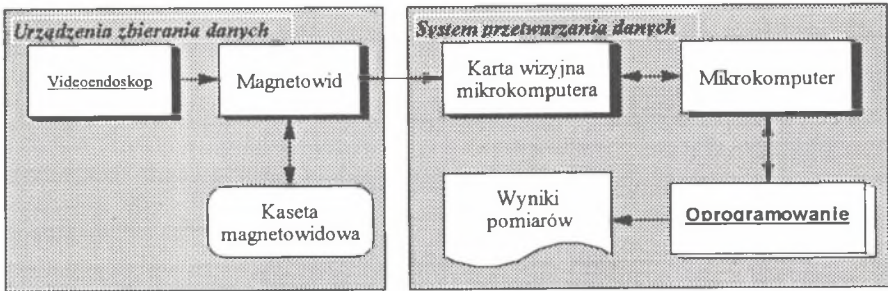
rów na obiekcie, często w bardzo trudnych warunkach, co zwiększa możliwość popełnienia błędów oraz znacznie ogranicza zakres możliwych do realizacji pomiarów.

Precyzyjny pomiar odległości sondy od powierzchni jest możliwy jedynie w przypadku, gdy oś optyczna kamery jest prostopadła do powierzchni. W przypadku gdy założenie to nie jest spełnione, powstaje błąd zależny od wartości kąta  $\beta$  między osią optyczną kamery a prostą prostopadłą do płaszczyzny oraz kąta widzenia kamery  $\alpha$ . Szerszą analizę tego zagadnienia przedstawiono w pracy [4].

### 3. PRZETWARZANIE I ROZPOZNAWANIE OBRAZÓW W ENDOSKOPOWYCH BADANIACH DIAGNOSTYCZNYCH

#### 3.1. Przepływ informacji i konfiguracja sprzętowa

Idea proponowanego rozszerzenia zakresu stosowalności metod endoskopowych sprowadza się do stworzenia możliwości dalszej analizy zarejestrowanych na taśmie video wyników badań na obiekcie. Zrealizować to można poprzez zapewnienie importu obrazu do mikrokomputera klasy IBM PC oraz opracowanie pakietu programów użytkowych do przetwarzania, rozpoznawania i analizy obrazu. Na rys. 3 przedstawiono schemat blokowy przepływu informacji począwszy od obrazów zarejestrowanych kamerą do wyników dodatkowych pomiarów charakterystycznych wielkości obiektów znajdujących się na nich.

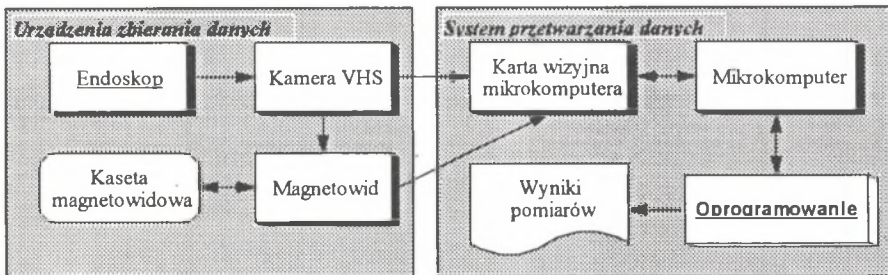


Rys. 3. Schemat blokowy przepływu informacji pochodzących z videoendoskopu

Fig. 3. The block diagram of flow of information from the videoendoscope

Proponowany układ składa się z dwóch podstawowych części. Na pierwszą z nich składają się urządzenia zbierania danych. Drugą stanowi system przetwarzania danych. Dzieli się ona z kolei na część sprzętową i oprogramowanie. W części sprzętowej ważną rolę pełni karta wizyjna umożliwiająca transfer obrazu z magnetowidu lub kamery video systemu VHS do mikrokomputera.

Alternatywnym rozwiązaniem w stosunku do videoendoskopu jest endoskop wyposażony w kamerę video i magnetowid pracujący w systemie VHS. Różnica polega na formie transmisji informacji między sondą a mikrokomputerem. Rys. 4 przedstawia ogólny schemat przepływu informacji w takim systemie.



Rys. 4. Schemat blokowy przepływu informacji pochodzących z endoskopu

Fig. 4. The block diagram of flow of information from the endoscope

W przypadku badań endoskopowych obraz jest rejestrowany kamerą zewnętrzną. Na obrazie nie pojawia się cień będący źródłem informacji o odległości kamery od obiektu, co znacznie ogranicza zakres możliwych do przeprowadzenia pomiarów.

## 3.2. Przetwarzanie obrazu graficznego

### 3.2.1. Cel i metody

Przetwarzanie obrazu na potrzeby defektoskopii ma na celu:

- podniesienie jakości obrazu, czyli:
  - usunięcie szumów poprzez filtrację cyfrową,
  - wydzielenie najbardziej istotnych fragmentów obrazu oraz zmianę skali wyświetlania,
  - zmianę jaskrawości i kontrastu,
- automatyczne określenie położenia i wielkości okna zawierającego obraz użytkowy:
  - rozpoznanie obiektów,
  - detekcję krawędzi,
  - wydzielenie typowych obiektów na obrazie.

Zastosowanie ww. etapów pozwoli w efekcie na przygotowanie zarejestrowanych obrazów z badań defektoskopowych do dalszej analizy oraz pomiarów ich wybranych cech geometrycznych.

### 3.2.2. Automatyzacja pomiarów

Proponowane rozwiązania sprzętowo–programowe umożliwiają automatyzację niektórych czynności związanych z określeniem skali obrazu oraz pomiarami obiektów znajdujących się na nim.

Podstawową czynnością warunkującą prawidłowe pomiary videoendoskopowe jest kalibracja. Polega ona na wyznaczeniu wartości określonych parametrów zależnych głównie od budowy sondy. W przypadku metody videoendoskopowej istotne jest określenie odległości linii cienia od środka obrazu, co w efekcie pozwala na wyznaczenie odległości kamery od badanej płaszczyzny.

Bardzo istotnym zagadnieniem z punktu widzenia dokładności pomiarów jest określanie środka cienia według tych samych zasad dla różnych obrazów. Będzie to możliwe przy obiektywizacji metody określania położenia środka cienia. Opracowanie obiektywnej metody oraz jej implementacja zapewni minimalizację popełnianych błędów.

Automatyczne wyznaczenie krawędzi obiektów pozwoli na precyzyjniejsze pomiary ich wymiarów liniowych, co jest szczególnie ważne w przypadku określania granic rozmytych obiektów.

Istotne jest również, z punktu widzenia dokładności wyznaczenia skali obrazu, aby analizie poddać tylko część obrazu zawierającą informacje pochodzące z kamery.

## 4. OPROGRAMOWANIE SYSTEMU I ANALIZA DOKŁADNOŚCI POMIARÓW

### 4.1. Oprogramowanie

Wymienione w rozdziale 3.2. zadania zrealizować można w formie pakietu programów użytkowych, bazujących na metodach rozpoznawania obrazów. Praca [1] zawiera opisy podstawowych algorytmów niezbędnych przy wstępnej obróbce obrazu. Interpretacja wstępnie przetworzonego obrazu wymaga stosowania algorytmów z dziedziny grafiki komputerowej [2, 3]. Zakłada się, że opracowany pakiet programów użytkowych zapewni:

- możliwość analizy obrazów, na których linia cienia jest ustawiona pod dowolnym kątem w stosunku osi pionowej obrazu, co znacznie ułatwi proces zbierania danych,
- możliwość dokonywania pomiarów wszystkich obiektów znajdujących się na zarejestrowanym obrazie, poprzez udostępnienie informacji na temat fizycznych wymiarów pojedynczych pikseli, jak również wymiarów całego widzianego obszaru,
- możliwość oszacowania błędów pomiarów wynikających z ograniczonej rozdzielczości obrazu oraz jego wymiarów,
- możliwość oszacowania błędów wynikających z ustawienia osi optycznej kamery, gdy nie jest zachowana jej prostopadłość do badanej płaszczyzny, po wprowadzeniu do systemu szacunkowych danych o odchyleniu od warunków idealnych,
- automatyzację pomiarów pozwalającą na minimalizację błędów wynikających z przyczyn subiektywnych.

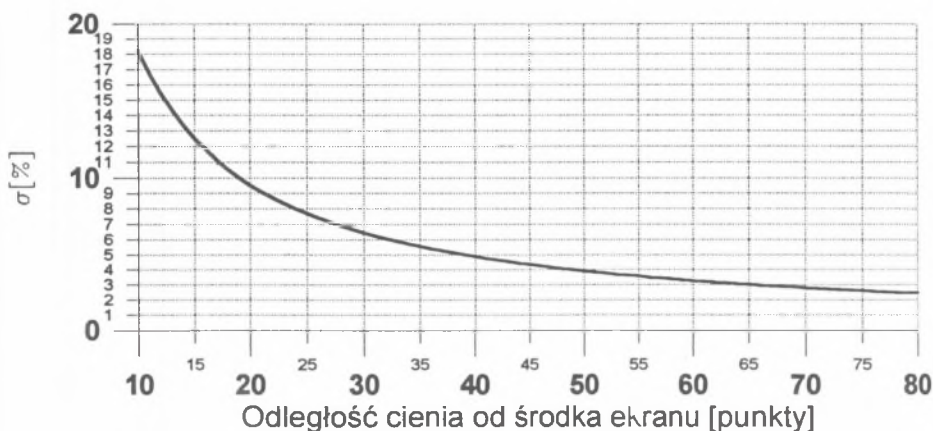
Oprogramowanie realizujące ww. zadania jest aktualnie w języku zorientowanym obiektowo Borland® C++ v.3.1. Środowiskiem pracy aplikacji jest Microsoft® Windows™ v.3.1, a jej wersja użytkowa zostanie wykonana przy użyciu Borland® C++ v.4.0 i pracować będzie zarówno w Microsoft® Windows™ v.3.1, jak i Microsoft® Windows NT™.

### 4.2. Wyniki badań testowych videoendoskopu i analiza dokładności pomiarów

Dokładność pomiarów zależy od bardzo wielu czynników. Jednym z podstawowych jest rozdzielczość kamery. Decyduje ona bezpośrednio o wymiarach najmniejszego rozróżnianego obiektu. Kolejnym czynnikiem jest określenie odległości kamery od badanej płaszczyzny, a co za tym idzie – wyznaczenie odległości linii cienia od środka obrazu. Etapem pośrednim jest znalezienie środka cienia, który na obrazie jest rozmyty krzywą o grubości kilkunastu punktów.

Bezбłędne określenie położenia cienia nie gwarantuje precyzyjnego wyznaczenia odległości kamery od płaszczyzny. Wynika to z ograniczonej rozdzielczości kamery i pociąga za sobą konieczność uwzględnienia błędu wynikające-

go z wielkości najmniejszej działki, czyli jednego piksela obrazu. Wielkość tego błędu zależy od odległości kamery od płaszczyzny. Rysunek 5. przedstawia zależność błędu określenia odległości od płaszczyzny (wyrażonego w procentach) jako funkcji odległości cienia od środka obrazu mierzonej w liczbie punktów elementarnych.



Rys. 5. Zależność błędu od odległości cienia od środka obrazu

Fig. 5. Dependence of the error on distance of the shadow from the picture centre

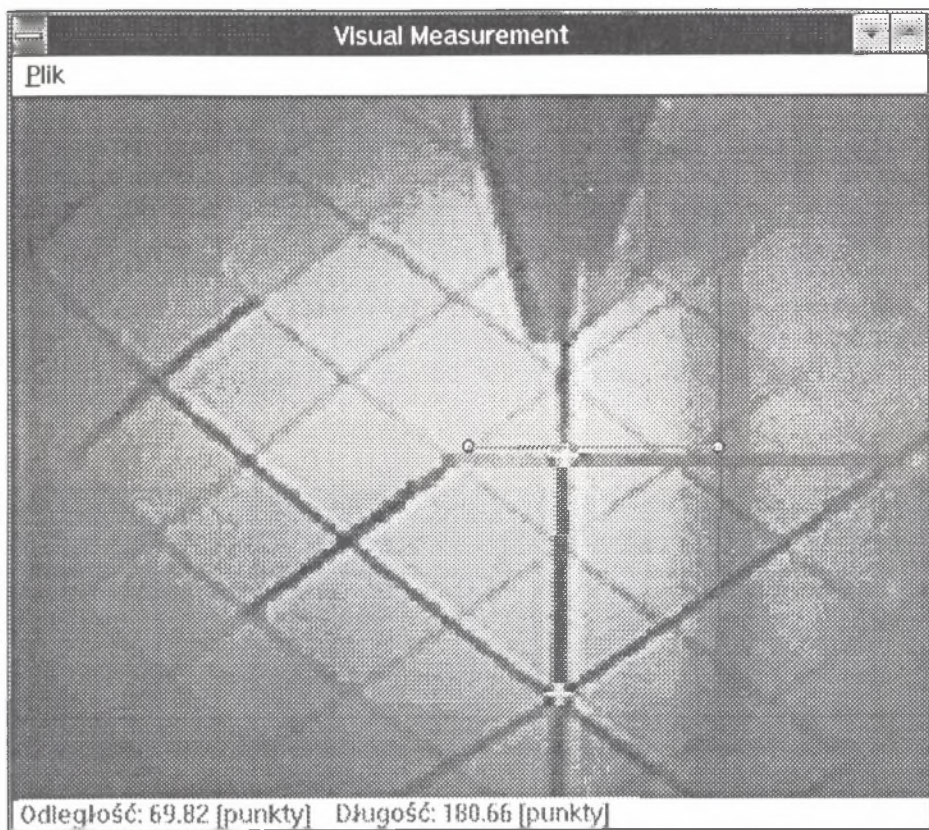
Z rysunku wynika, że dla obrazów, gdzie cień jest blisko środka obrazu, błąd gwałtownie rośnie. Oznacza to, że dla pomiarów wykonywanych z dużej odległości występują problemy z precyzyjnym określeniem odległości sondy od badanej powierzchni, co związane jest także z rozmyciem cienia.

Aby kompensować błędy pomiaru, konieczne jest poznanie ich charakteru dla konkretnego przyrządu i odpowiednia korekta otrzymywanych wartości. Istotne jest również określenie przedziału ufności. Szczegółową analizę dokładności pomiaru utrudnia nieliniowość modelu matematycznego videoendoskopu.

Stosując algorytmy ścieniania i wyznaczania krawędzi zawarte w pracy [5] można osiągnąć pełną automatyzację procesu skalowania obrazu. Wykrycie i precyzyjne określenie położenia i kształtu cienia pozwoli w efekcie na otrzymanie dodatkowych danych na temat kształtu powierzchni, na której znajdują się obiekty będące przedmiotem badań diagnostycznych.

W celu weryfikacji proponowanej koncepcji przeprowadzono serię badań testowych przy wykorzystaniu videoendoskopu Video ShadowProbe 2000. Pomiarzy prowadzono we wszystkich trybach pracy przyrządu, przy różnych odległościach kamery od płaszczyzny oraz kilku kątach nachylenia osi optycznej.





Rys. 6. Zarejestrowany obraz z badań testowych videoendoskopu: – oś optyczna kamery jest prostopadła do badanej płaszczyzny; – odległość kamery od obiektu wynosi  $d = 10,8$  mm

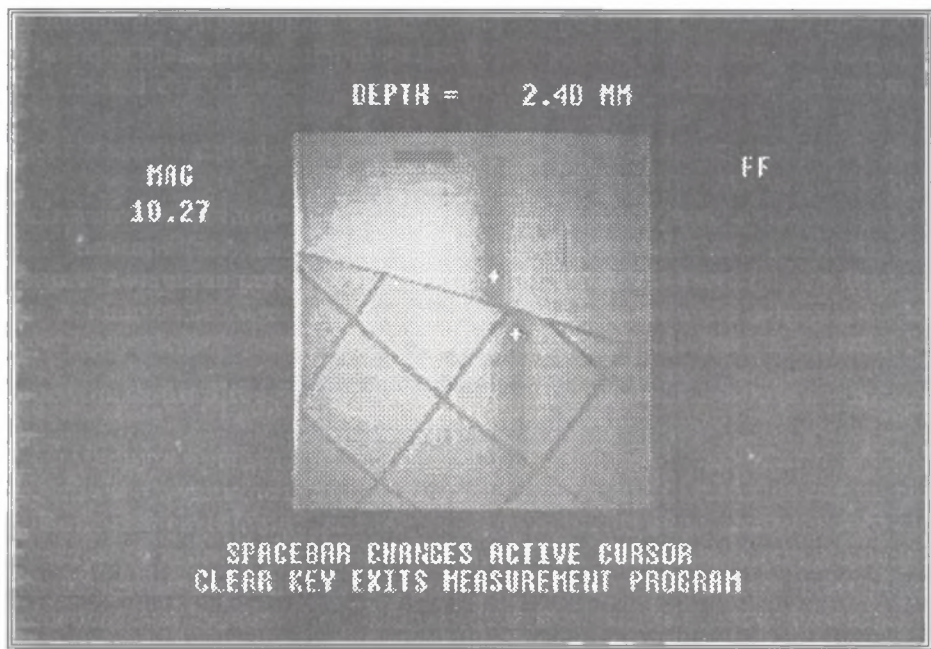
Fig. 6. The registered picture from videoendoscope tests – the optical axis of camera is perpendicular to the tested plane – the distance of camera from the object is  $d = 10,8$  mm

Na rys. 6 przedstawiono przykład pomiaru w trybie *DISTANCE*, gdy oś optyczna kamery jest prostopadła do płaszczyzny. Zarejestrowany na kasecie VHS obraz z pomiarów videoendoskopowych importowano do komputera IBM PC/486DX 50 MHz przy wykorzystaniu karty *VideoBlaster*, a następnie poddano obróbce cyfrowej przy użyciu opracowywanego programu *Visual Measurement*. Długość mierzonego odcinka wg *Video ShadowProbe 2000* wynosi  $P_1P_2=10,91$  mm.

Po zastosowaniu wzoru:

$$P_1P_2 = d \sqrt{\left[ \frac{d_x}{r_x}(x_2 - x_1) \right]^2 + \left[ \frac{d_y}{r_y}(y_2 - y_1) \right]^2} \quad (1)$$

gdzie:  $x_1, y_1, x_2, y_2$  są współrzędnymi odcinka na obrazie,  $d_x, d_y$  – odległościami kamery od płaszczyzny dla osi X i Y,  $r_x, r_y$  – odległościami obserwatora od płaszczyzny rzutowania dla osi X i Y, natomiast  $P_1P_2$  jest długością mierzonego odcinka, otrzymany wynik okazał się zgodny z podanym przez *Video ShadowProbe 2000* z tolerancją  $\pm 0,2$  mm. Dla rozpatrywanego obrazu współczynniki skali wyniosły:  $r_x = 140$  punktów,  $r_y = 145$  punktów. Wzór (1) zastosowano również do obliczenia długości innych odcinków znajdujących się na obrazie. Otrzymane wyniki charakteryzowała zadowalająca dokładność, co potwierdza



Rys. 7. Zarejestrowany obraz z badań testowych videoendoskopu. Pomiar głębokości

Fig. 7. The registered picture from videoendoscope tests. Measurement of the depth

tezę o możliwości dokonywania dodatkowych pomiarów na zarejestrowanych obrazach, jeśli poddamy je dalszemu przetwarzaniu.

Rysunek 7 przedstawia typowy obraz uzyskany z urządzenia *Video ShadowProbe 2000* przy pomiarze różnicy poziomów (*DEPTH MODE*). Metoda wyznaczania głębokości uskoku polega na pomiarze przesunięcia linii cienia na jego krawędzi. Przesunięcie to powstaje ze względu na różnicę odległości dwóch płaszczyzn, na jakie pada cień. Przedstawiona powyżej metoda pozwala na pomiar głębokości szczeliny lub wysokości obiektu na zarejestrowanym obrazie.

Pomiary obiektów znajdujących się na płaszczyznach nieprostopadłych do osi optycznej kamery mogą być obarczone dużymi błędami. Widoczny cień na ujęciach rys. 8 nie dostarcza wystarczających informacji o położeniu zarejestrowanych powierzchni. Jednym z celów aktualnie prowadzonych badań jest umożliwienie analizy również tego typu przypadków. Odpowiednie algorytmy obliczeń bazujące na zależnościach stereometrycznych pozwolą w efekcie na podniesienie dokładności i rozszerzenie zakresu pomiarów.



Rys. 8. Zarejestrowany obraz z badań videoendoskopowych na obiektach rzeczywistych

Fig. 8. The registered picture from videoendoscope tests made on real objects

## 5. WNIOSKI

Podstawową cechą zaproponowanego systemu jest możliwość otrzymania większej ilości informacji o rejestrowanym obrazie, niż możliwe jest to w trakcie standardowych badań diagnostycznych i pomiarów na obiektach rzeczywistych. Osiągnąć to można dzięki rejestracji i późniejszemu opracowywaniu wyników przez specjalistyczne oprogramowanie użytkowe. Praktyka dowodzi, że źródłem dużego procentu błędów w ocenie stanu faktycznego jest wykonywanie badań w trudnych warunkach. Wyeliminowanie ich wpływu

przez przeniesienie czynności polegających na przetwarzaniu i opracowywaniu wyników oraz podejmowaniu decyzji o dodatkowych pomiarach do laboratorium zwiększa obiektywność oceny sytuacji. Wykonywanie dodatkowych pomiarów bez konieczności powrotu na obiekt daje również ogromne możliwości zwiększenia ilości danych diagnostycznych badanego obiektu. Nie bez znaczenia jest również możliwość oszacowania dokładności prowadzonych badań, co może osiągnąć na drodze dokładnej analizy cienia padającego na płaszczyznę. W jego kształcie i położeniu zawarte są informacje o deformacjach samej płaszczyzny, jak również o zmianach wymiarów liniowych widzialnych obiektów wynikających z rzutowania powierzchni sferycznej na płaszczyznę. Pełna analiza metod endoskopowych i opracowane na jej podstawie oprogramowanie użytkowe pozwoli na podniesienie efektywności i rozszerzenia zakresu badań diagnostycznych.

## LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa pod red. Wojciechowskiego K.: Laboratorium przetwarzania i rozpoznawania obrazów. Politechnika Śląska, Gliwice 1992.
- [2] Angell Ian O.: Wprowadzenie do grafiki komputerowej. WNT, Warszawa 1988.
- [3] Jankowski M.: Elementy grafiki komputerowej. WNT, Warszawa 1990.
- [4] Dobrowolski B., Kabza Z., Krótkiewicz M., Jezierski G., Chmielewski A.: Możliwości zastosowania metod przetwarzania i rozpoznawania obrazów w diagnostyce videoendoskopowej. Zeszyty naukowe WSI w Opolu nr 199 z. 38, Materiały konferencji „Gospodarka Remontowa Energetyki”, Opole 1994.
- [5] Krótkiewicz M.: Praca dyplomowa magisterska: Procedury rozpoznawania elementów obrazów. Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu, 1993.
- [6] Kucia W.: Metody badań diagnostycznych stosowanych w energetyce. Zeszyty naukowe WSI w Opolu nr 199 z. 38, Materiały konferencji „Gospodarka Remontowa Energetyki”, Opole 1994.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerard KOSMAN

Wpłynęło do Redakcji 10.08.1994.

**Abstract**

Optical methods (borescopes, endoscopes, videoendoscopes) allow to make visual inspection of hard to reach surfaces and joints as well as determine dimensions of defects of the material. These methods are widely applied at present and they belong to non-destructive diagnostic methods.

In the paper a computer system for processing and analysis of the picture from diagnostic tests, registered with the video recorder, is discussed. The system contains a hardware, in which a videograbber is an important element, and application software worked out for the Microsoft Windows environment. The main assumptions for the software have been given and possibilities of additional measurements under laboratory conditions have been shown. The paper also presents the test results from the Video ShadowProbe 2000 videoendoscope and the examples of measurements done on the picture registered.