

Badania wideo-ultradźwiękowych VUD

Wyposażenie kamera komputerowa VUD010

Władysław MICHNOWSKI

Zakład Badań Materiałów ULTRA Wrocław ultrasonic@home.pl

Jarosław MIERZWA

Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej mierzwa@ict.pwr.wroc.pl

Maciej Gajewski ULTRA Wrocław maciek@ict.pwr.wroc.pl

Streszczenie. Artykuł jest kontynuacją wcześniejszego (4.1), omawiają one nową metodę badań nieniszczących łączącą badania wizualne z ultradźwiękowymi oraz zaawansowaną techniką cyfrową co daje dodatkowo nowe możliwości zobrazowań (obraz C) automatyzacji i archiwizacji ale także w zakresie przydatności badań. . Metoda ta wykorzystuje kamerę do lokalizacji położenia głowicy na badanym elemencie. Umożliwia to rejestrację i prezentację wyników badań ultradźwiękach w przestrzeni trójwymiarowej oraz zobrazowań w wybranych przez operatora przekrojach. Pokazywane obrazy mogą służyć do lokalizacji wad, odczytywania ich wymiarów, a także oceny badanych elementów według wybranych kryteriów. Pokazana kolejna wersja defektoskopu VUD zawiera specjalnie opracowaną kamerę cyfrową przystosowaną do współpracy z typowym defektoskopem CUD. Zamieszczono wyniki badań i aktualne możliwości w badawcze tego zestawu.

1. Wstęp

Stosowane w badaniach ultradźwiękowych **SKANERY** to forma przejściowa pomiędzy mniej lub bardziej prymitywnymi formami badań, a przyszłościowymi badaniami z użyciem TOMOGRAFÓW. Od wielu lat obserwuje się rozwój konstrukcji skanerów na ogół o wyspecjalizowanych zastosowaniach ale także o zastosowaniach dość ogólnych. Skanery pozwalają na:

- zautomatyzowaną rejestrację wyników badań ultradźwiękowych
- ich archiwizację na nośnikach cyfrowych
- zobrazowania płaskie lub przestrzenne to jest sonogramy – mapy wad
- w wysokim stopniu zautomatyzowaną ocenę elementów badanych na podstawie przyjętej normy, procedur itd.
- wysoką powtarzalność wyników badań
- zapisy sonogramów podają rozkłady i wielkości wykrytych wad w przekrojach nośnych konstrukcji, co stwarza nowe dotąd mało wykorzystane możliwości, mianowicie pozwala w uzasadnionych przypadkach na odejście od obecnie powszechnie stosowanych dość przypadkowych arbitralnych kryteriów jakości.

W zamian sonogramy mogą być wykorzystane i powiązane z mechanizmami zniszczenia takimi jak mechanika pękania i teoria sprężystości co pozwoliłoby na prognozowanie trwałości konstrukcji, a jest to czynnik istotny w eksploatacji.

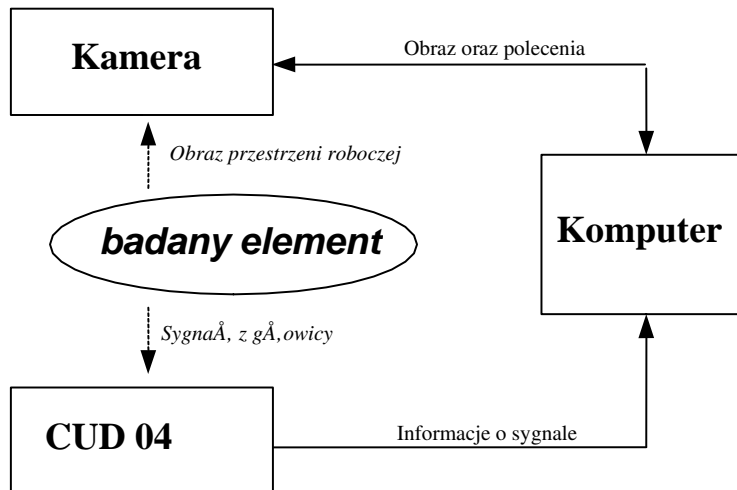
Istniejące konstrukcje skanerów można ze względu na sposób prowadzenia głowic podzielić na zmechanizowane i ręczne.

Przedstawiony niżej system **VUD10** pozwala na rejestrację ultradźwiękowych badań z wizualizacją w czasie rzeczywistym wyników oraz rejestrację archiwizowanie przestrzennych map usytuowania i wielkości wad w badanych elementach takich jak blachy, kształtowniki, rurociągi oraz spoiny.

Realizacja tematu uległa opóźnieniu w związku z tym że nie udało nam się znaleźć kamery która by spełniała wymogi określone w (4.2) i równocześnie mogła by być sterowana z komputera w takich parametrach jak automatyczne nastawianie obrazu przy korzystaniu z powiększeń (zoomu). Dlatego kontynuacja tematu wymagała opracowania własnej konstrukcji kamery której możliwości są prezentowane.

2. System VUD

System VUD składa się z trzech komponentów: defektoskopu CUD04, inteligentnej kamery cyfrowej, oraz komputera. Schemat połączeń oraz przepływu informacji pomiędzy poszczególnymi elementami systemu jest przedstawiony na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat blokowy systemu VUD

Zadaniem systemu jest zbudowanie trójwymiarowej mapy rozkładu wad w badanym elemencie. Mapa budowana jest na podstawie sygnału z głowicy ultradźwiękowej, oraz informacji na temat jej położenia. Pozycja głowicy ustalana jest na podstawie obserwacji przestrzeni roboczej przez kamerę cyfrową. Aby możliwe było dokładne zlokalizowanie głowicy na tle badanego materiału, umieszcza się na niej diodę LED. Dodatkowo w polu wodzenia kamery rozmieszcza się świecące markery, dzięki czemu możliwe jest dokładne ustalenie pozycji głowicy w układzie współrzędnych badanej próbki.

Obraz przestrzeni roboczej jest wstępnie przetwarzany przez kamerę i wysyłany do komputera, gdzie specjalne oprogramowanie ustala pozycję głowicy. Informacja o pozycji głowicy jest łączona z napływającymi w tym samym czasie z defektoskopu wynikami badania, dzięki czemu możliwe jest tworzenie trójwymiarowej mapy wad w czasie rzeczywistym.

Rozkład wad oraz miejsca położenia głowicy są przedstawiane na bieżąco na ekranie komputera w postaci czytelnego schematu. Dodatkowo możliwe jest nałożenie mapy wad badanego elementu na kolorowy obraz z kamery, co pozwala na ich szybkie i bezbłędne zlokalizowanie, a także porównanie badań wizualnych z ultradźwiękowymi.

2.1 Kamera cyfrowa

W systemie VUD 010 zadaniem kamery cyfrowej jest pobieranie i obróbka obrazu badanej powierzchni, oraz wysyłanie go do komputera. Aby efektywnie spełniać swoje zadanie i współpracować z pozostałymi elementami systemu, kamera musi spełniać następujące warunki:

Wysoka rozdzielczość obrazu, konieczna jest do precyzyjnego zlokalizowania elementów na obrazie. Rozdzielczość standardowych kamer działających w systemie **PAL**(720x576) jest do tego celu zbyt mała.

Możliwość pobierania obrazu kolorowego, konieczna jest do wiernego odtworzenia rzeczywistych obrazów, oraz do wyodrębnienia z otoczenia niebieskich lub czerwonych diód LED.

Możliwość wykonywania podstawowych operacji na obrazie w czasie rzeczywistym, takich jak progowanie lub separacja kanałów barwnych. Zmniejsza to ilość obliczeń koniecznych do wykonania przez komputer - a co za tym idzie – zwiększa prędkość działania całego systemu.

Możliwość sterowania układem optycznym przez komputer, pozwala na automatyczne dobranie parametrów obiektywu - takich jak ostrość, przesłona czy powiększenia (zoom) – do wykonywanych operacji, oraz do zmiennych warunków oświetleniowych panujących na stanowisku badawczym.

Szybkie, dwukierunkowe cyfrowe połączenie z komputerem, konieczne jest do szybkiego przesyłania obrazów z kamery do komputera, oraz wysyłania ustawień i poleceń z komputera do kamery.

Ponieważ dostępne w handlu rozwiązania nie spełniają w/w założeń, konieczne było stworzenie własnej konstrukcji. Kamera pracująca w systemie VUD010 jest wyspecjalizowanym urządzeniem, w całości skonstruowanym i zbudowanym w ZBM Ultra. Oparta jest o kolorowy przetwornik CCD wysokiej rozdzielczości (3,2 megapiksela) oraz zmotoryzowany obiektyw o zmiennej ogniskowej, pozwalający na uzyskanie dziesięciokrotnego przybliżenia.

Sterowaniem kamery i obróbką obrazu zajmuje się układ cyfrowy składający się z mikroprocesora oraz programowalnego układu logicznego FPGA. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala a uzyskanie dużych prędkości przetwarzania informacji.

Kamera komunikuje się z komputerem poprzez internet, i wyposażona jest w interfejs sieci lokalnej Ethernet 100Mbps.



Rysunek 2. Inteligentna kamera cyfrowa opracowana w ZBM Ultra, komponent systemu VUD 010

2.2 Defektoskop cyfrowy

Defektoskop pracujący w systemie VUD to standardowy defektoskop cyfrowy CUD04 z załadowanym specjalnym programem. Wykorzystanie gotowej konstrukcji jako komponentu tworzonego systemu pozwala przyspieszyć prace nad projektem, a ponieważ CUD04 jest sprawdzoną konstrukcją, zwiększa także niezawodność systemu.

Przystosowanie defektoskopu do pracy w systemie VUD nie wymaga wykonywania w nim żadnych zmian sprzętowych.

2.3 Komputer wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem.

Komputer pełni w systemie VUD rolę jednostki centralnej. Specjalny napisany program realizuje następujące zadania:

- ☞ - konfiguracja kamery,
- ☞ - pobieranie obrazu z kamery,
- ☞ - wykrywanie na obrazie głowicy i markerów,

- ∞ - obliczanie rzeczywistej pozycji głowicy w układzie współrzędnych badanej próbki,
- ∞ - pobieranie informacji z defektoskopu,
- ∞ - rysowanie trójwymiarowej mapy wad.

2.3.1 Konfiguracja kamery

Konfiguracja kamery polega na wysłaniu do niej zestawu poleceń z komputera. Polecenia mogą dotyczyć ustawień obiektywu, przetwornika oraz parametrów wstępnej obróbki obrazu.

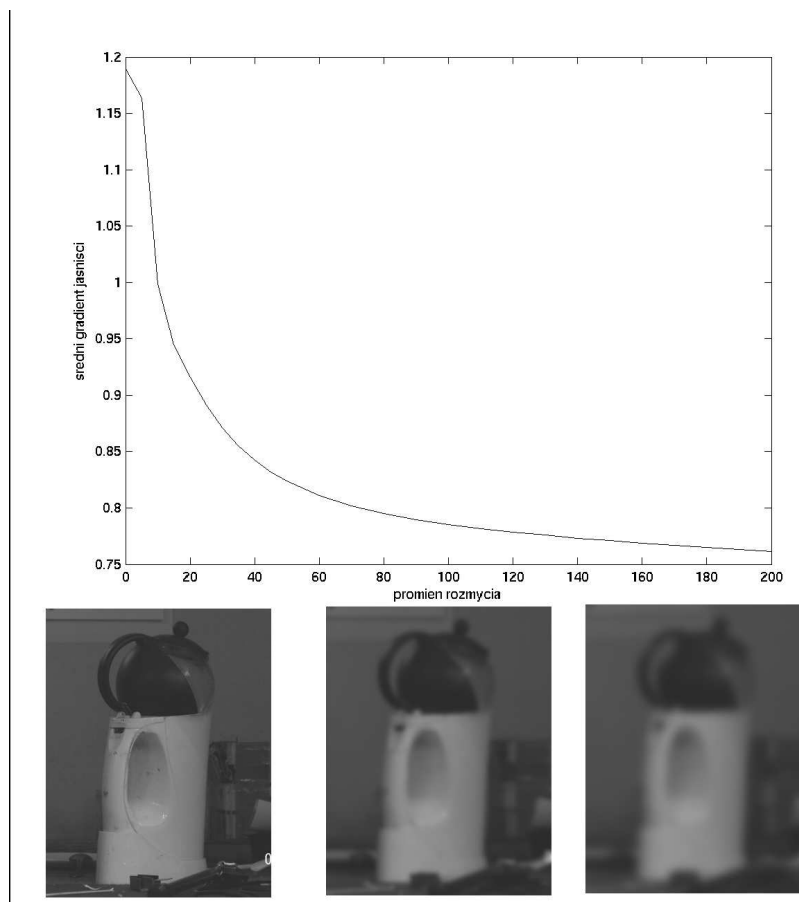
Podczas ustawiania obiektywu komputer potrafi samodzielnie dobrać ostrość oraz przysłonę. Ostrość dobierana jest poprzez mechanizm zbliżony do mechanizmu *Auto Focus* w kamerach cyfrowych. Polega on na obliczaniu średniego gradientu jasności obrazu. Funkcja gradientu jasności jest tym większa, im ostrzejsze i wyraźniejsze są widoczne na obrazie krawędzie. Zamiana ostrości całego obrazu na jednowymiarową funkcję ustawienia obiektywu sprowadza problem do poszukiwania maksimum globalnego i pozwala wykorzystać w tym celu standardowe metody matematyczne, takie jak metoda gradientowa lub metoda sukcesywnych aproksymacji.

Postać funkcji gradientu jasności jest następująca:

$$g = \frac{\sum_{x=1,y=1}^{n-1,m} (q_{x,y} - q_{x-1,y})^2}{\sum_{x=1,y=1}^{n-1,m} q_{x,y}}$$

gdzie:

- g – średni gradient jasności obrazu,
- n, m – wysokość i szerokość obrazu,
- $q_{x,y}$ – jasność punktu o współrzędnych x, y .



Rysunek 3. Wykres funkcji średniego gradientu jasności dla obrazów o różnym stopniu rozmycia, oraz trzy przykładowe obrazy o promieniu rozmycia odpowiednio 0, 100 i 200.

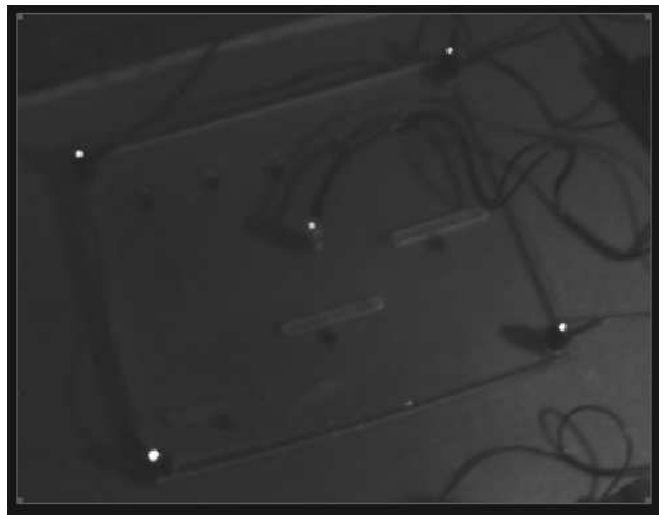
2.3.2. Wykrywanie głowicy i markerów

Wyodrębnienie głowicy oraz markerów z obrazu jest możliwe dzięki umieszczeniu na nich jaskrawych niebieskich lub czerwonych diód świecących.

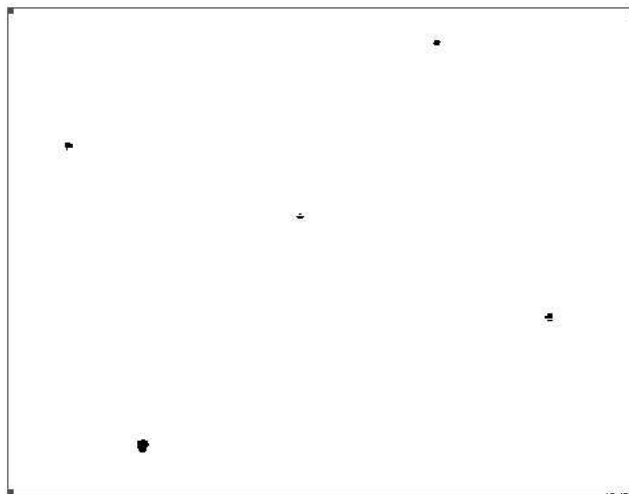
Jaskrawość diód pozwala na oddzielenie ich od tła poprzez operację progowania obrazu, a wybór barwy czerwonej lub niebieskiej pozwala na ograniczenie analizowanego obrazu RGB do tylko jednego z kanałów: czerwonego lub niebieskiego. Zarówno progowanie, jak i ograniczenie obrazu do jednego z trzech kanałów barwnych wykonywane są w systemie VUD przez kamerę cyfrową. Wynikiem tych operacji jest obraz składający się jedynie z pikseli białych lub czarnych, reprezentujących najjaśniejsze elementy obrazu o wybranym kolorze.

Kolejnym etapem analizy obrazu, wykonywanym przez komputer, jest zlokalizowanie, na dostarczonym przez kamerę obrazie, diód świecących. Polega on na pogrupowaniu pikseli obrazu, a następnie na obliczeniu środków ciężkości oraz rozmiarów tychże grup. Po odrzuceniu grup zbyt dużych oraz zbyt małych, można założyć z dużą dokładnością, że pozostałe odpowiadają faktycznym pozycjom diód LED na analizowanym obrazie.

Kolejne etapy analizy przedstawione są na rysunkach 4-6.



Rysunek 4. Widok z kamery systemu VUD 010 na badaną próbkę. Widoczne są cztery markery oraz głowica z niebieskimi diodami LED



Rysunek 5. Ten sam obraz po separacji kanału niebieskiego i progowaniu. Czarne punkty oznaczają najjaśniejsze miejsca na obrazie



Rysunek 6. Obraz barwny z naniesioną mapą wad oraz wykrytą głowicą i markerami

2.3.3. Ustalanie pozycji głowicy względem markerów

Zadanie ustalania pozycji głowicy w przestrzeni roboczej polega na zamianie współrzędnych głowicy na ekranie, wyrażonych w pikselach, na współrzędne w układzie badanej próbki, wyrażone w milimetrach. Szybkie wykonanie tej konwersji jest możliwe dzięki spostrzeżeniu, że przy nachyleniu osi optycznej kamery względem badanej powierzchni bliskiemu kątowiu prostemu, przekształcenie współrzędnych jest podobne do przekształcenia liniowego.

Przekształcenie liniowe to funkcja zamieniająca wektor współrzędnych w jednej przestrzeni liniowej na współrzędne w innej przestrzeni o tym samym wymiarze, poprzez pomnożenie wektora przez nieosobliwą macierz kwadratową. W przypadku przestrzeni dwuwymiarowych, z jakimi mamy do czynienia w omawianym zadaniu, wspomniana macierz składa się z czterech elementów:

$$x_{ekran} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} x_{fizyczne}$$

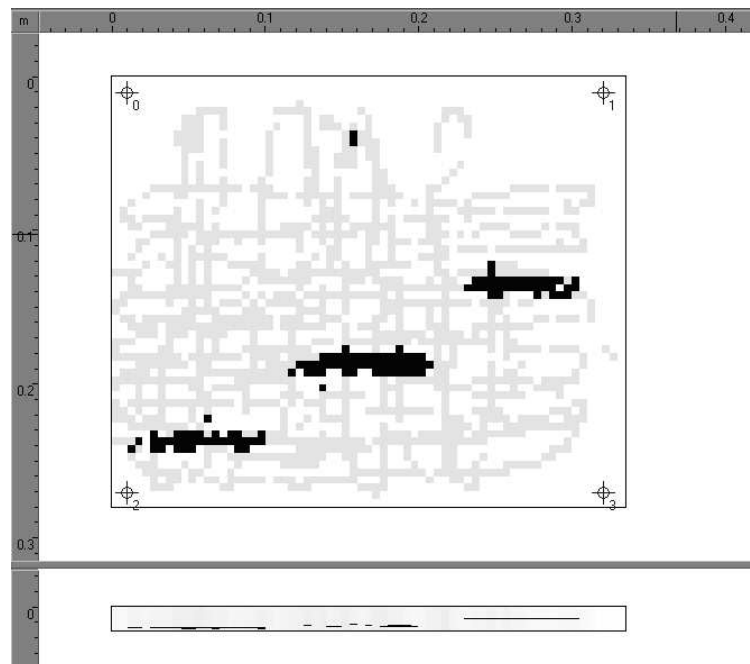
Wyznaczenie elementów macierzy przekształcenia pozwoli na transformację pozycji głowicy obserwowanej na ekranie na jej pozycję fizyczną. Aby ustalić wartości elementów macierzy należy rozwiązać następujący układ równań:

$$\begin{cases} a_{11} = \frac{-xf_2 y_1 + xf_1 y_2}{x_2 y_1 - x_1 y_2} \\ a_{12} = \frac{-xf_1 x_2 + xf_2 x_1}{x_2 y_1 - x_1 y_2} \\ a_{21} = \frac{-yf_1 y_2 + yf_{21} y_1}{-x_2 y_1 + x_1 y_2} \\ a_{22} = \frac{-yf_1 x_2 + yf_2 x_1}{x_2 y_1 - x_1 y_2} \end{cases},$$

gdzie:

$(x1, y1), (x2, y2)$ – dwa punkty we współrzędnych ekranu,
 $(xf1, yf1), (xf2, yf2)$ – odpowiadające im dwa punkty fizyczne.

Aby było to możliwe, konieczna jest znajomość pozycji dwóch punktów w przestrzeni fizycznej i odpowiadających im współrzędnych na ekranie. W tym celu wykorzystuje się rozmieszczone w polu widzenia kamery markery diodowe o znanej pozycji. Dzięki zidentyfikowaniu markerów na



Rysunek 7. Trójwymiarowa mapa wad w rzucie z góry i z przodu. Pola zaczerńnione oznaczają wykryte wady, pola żółte – obszar zbadany

ekranie uzyskują się ich pozycję ekranową - a co za tym idzie - dane konieczne do rozwiązania równania.

2.3.4. Pobranie danych z defektoskopu.

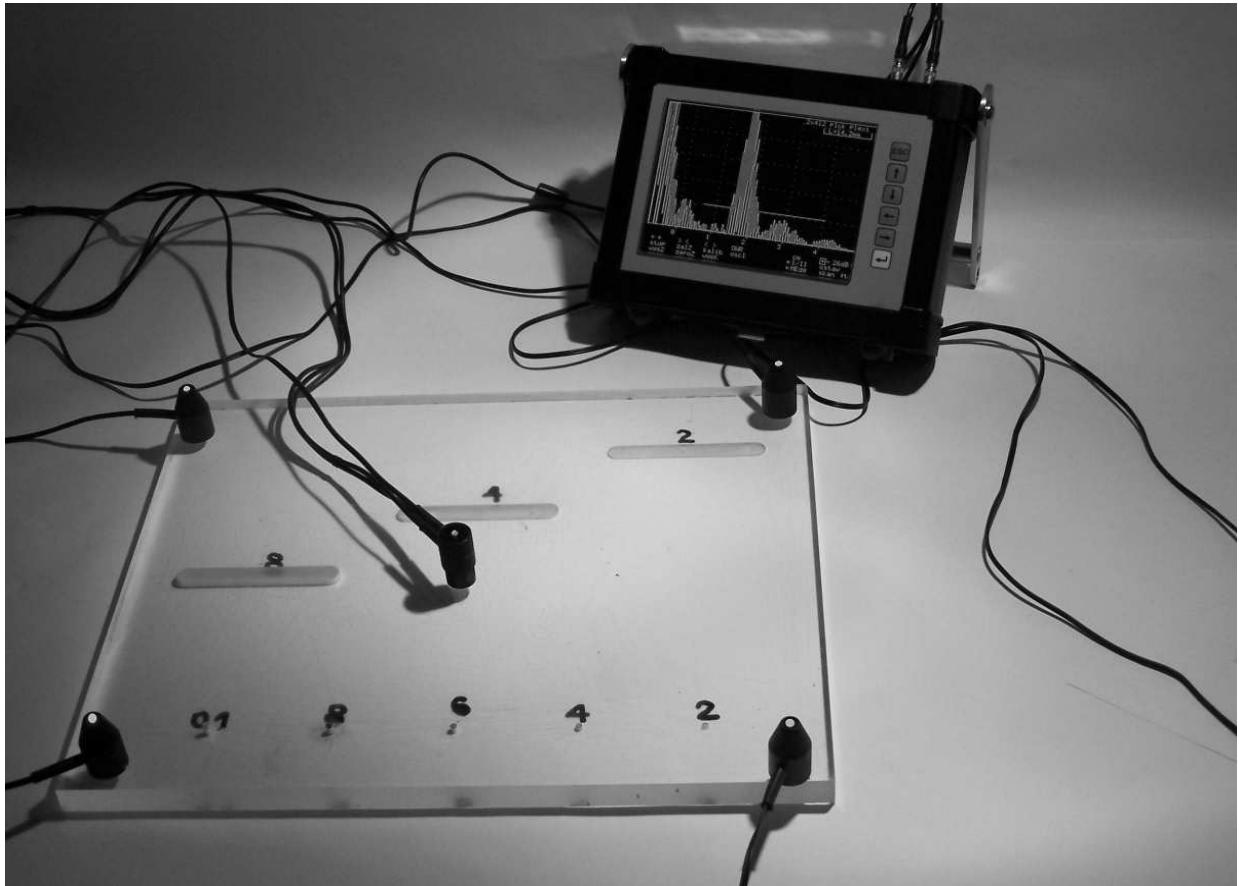
Ostatnim etapem przetwarzania danych jest pobranie z defektoskopu czasu opóźnienia echa ultradźwiękowego, które niesie ze sobą informację o głębokości wady w materiale. Połączenie głębokości z uzyskaną już pozycją względem powierzchni daje trójwymiarową pozycję wady i pozwala nanieść ją na mapę.

3. Przykłady zobrazowań wideo

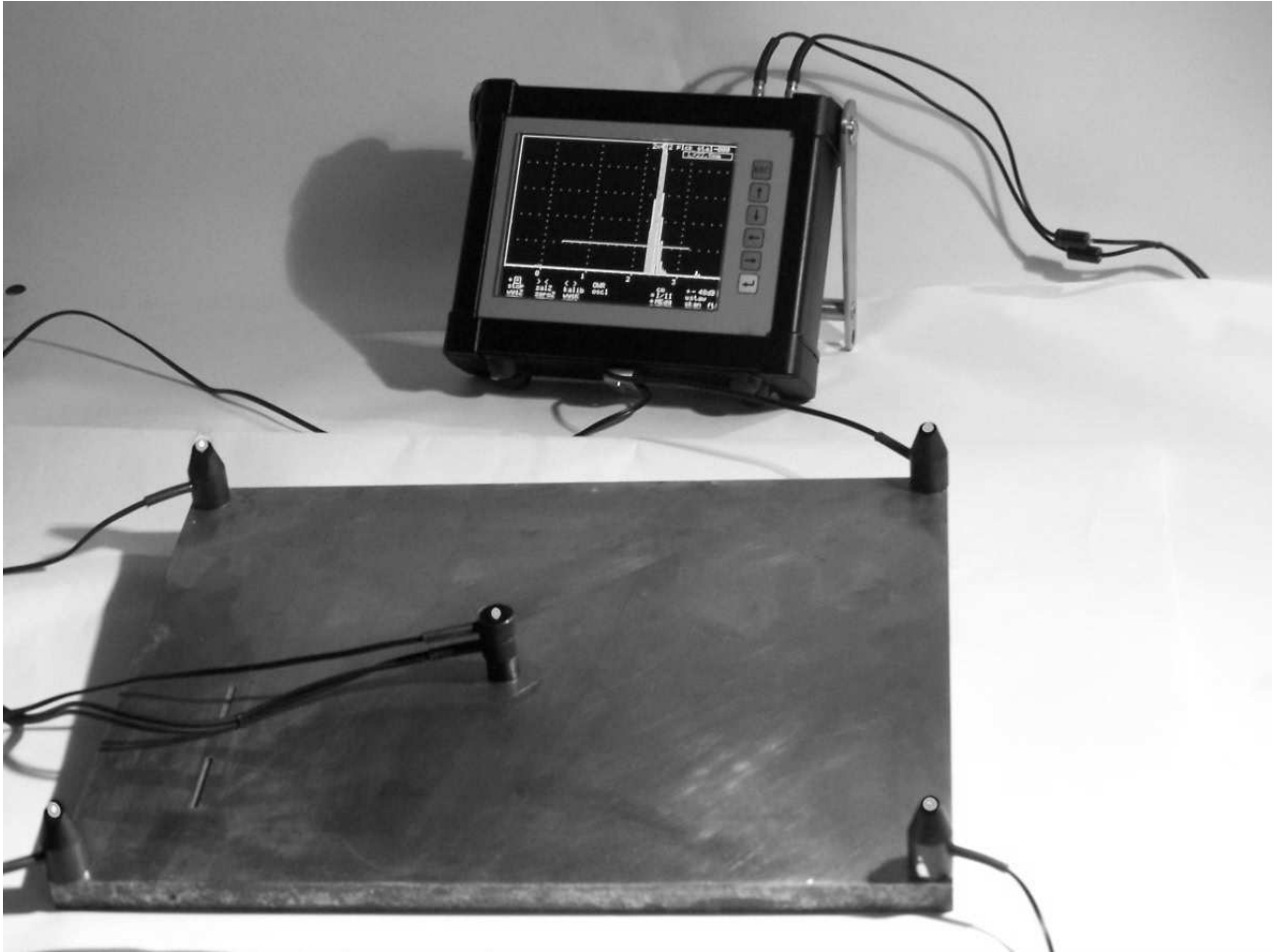
Odpowiedni fragment programu obsługi będzie wykorzystywał zapamiętane skale przy odczytywanych z ekranu wartościach wymiarów np. wady, rozwarstwienia, grubości itd. Ponadto program ten może kontrolować zniekształcenia wynikające z optyki geometrycznej takie jak perspektywa, brak prostopadłości ustawienia kamery, oraz wprowadzać korekty



Rysunek 8 Zestaw Defektoskopu VUD-010



Rysunek 9 Płyta z polimetakrylanu metylu (pleksi) z widocznymi wadami sztucznymi oraz ultradźwiękową głowicą podwójną z wtopionym Ledem. Wynik badanie tej płyty widoczny jest na rysunku 7.



Rysunek 10. Płyta ze stali z nacięciami widocznymi i po drugiej stronie oraz ultradźwiękowa głowicą podwójną z wtopionym Ledem

4. Literatura

- 4.1 Władysław Michnowski, Jarosław Mierzwa Badania Videoultradźwiękowe VUD Defektoskop VUD-001 KKBN Międzyzdroje 2003
- 4.2 Władysław Michnowski, Jarosław Mierzwa Dobór parametrów kamery w badaniach wideo-ultradźwiękowych VUD, Dziesiąte Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów Zakopane, 16-19 marca 2004