

POLITECHNIKA



BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ



INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

***Podstawy diagnostyki technicznej***

Kod przedmiotu: **KS05513, KN05513**

**Ćwiczenie Nr 6**

# **DEFEKTOSKOPIA ULTRADŹWIĘKOWA**

O p r a c o w a ł :

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2022

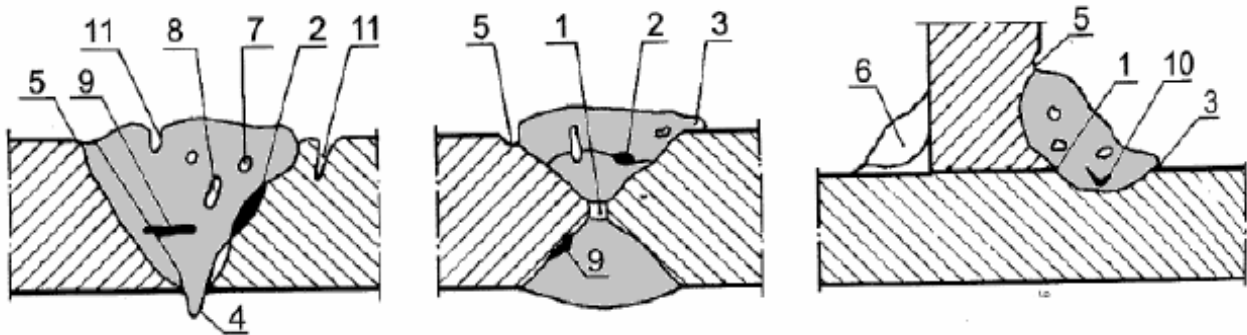
*Wszystkie prawa zastrzeżone*

*Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.*

**CEL ĆWICZENIA:** zapoznanie się z podstawami i metodami defektoskopii ultradźwiękowej, a także opanowanie przez studentów umiejętności wykrywania wad materiałowych i defektów spoin za pomocą defektoskopu DI 60 .

## 1. WPROWADZENIE

Elementy konstrukcyjne mogą zawierać wady struktur wynikające z nieprawidłowego przebiegu procesu technologicznego (odlewanie, walcowanie, kucie, itp.) lub procesu łączenia (spawanie, zgrzewanie). Na rys. 1 przedstawione zostały typowe wady występujące w połączeniach spawanych.



Rys. 1. Rodzaje wad połączeń spawanych: 1- brak przetopu grani; 2- zlepienie (brak wtopienia spoiwa w metal rodzimy); 3- nawis wynikający z nieprzetopienia krawędzi; 4- wyciek spoiwa po stronie grani; 5- podtopienie metalu rodzimego w formie karbów; 6- kratery na powierzchni spoiny; 7- pęcherze gazowe; 8- pory jako włoskowate puste miejsca; 9- wtrącenia, gniazda zażuźleń; 10- rysy, włoskowate pęknięcia wewnątrz spoiny; 11- pęknięcia poprzeczne i podłużne w spoinie i metalu.

Do wykrywania wad powierzchniowych i wewnętrznych elementów konstrukcyjnych najczęściej używa się badań nieniszczących z uwagi na ich niekwestionowane zalety.

Badania nieniszczące (NDT) dzielimy na:

- ✓ wizualne - VT;
- ✓ magnetyczne proszkowe – MT;
- ✓ penetracyjna - PT;
- ✓ radiograficzne - RT
- ✓ ultradźwiękowe - UT.

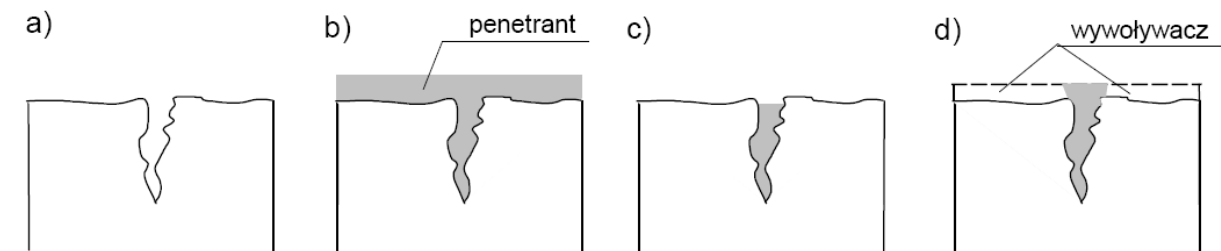
Ostatnie dwie metody nadają się do wykrywania wad wewnętrznych.

**Metoda wizualna** wymaga natężenia oświetlenia ocenianej powierzchni co najmniej 350 lx, przy zachowaniu odległości powierzchni od oka do 600 mm i kącie widzenia mniejszym niż 30°. W tabeli 1 podane zostały podstawowe wady spoin wykrywane metodą wizualną.

Tabela1. Niezgodności powierzchni i kształtu - wybrane przykłady. Oznaczenia wg PN-ISO 6520-1 [1]

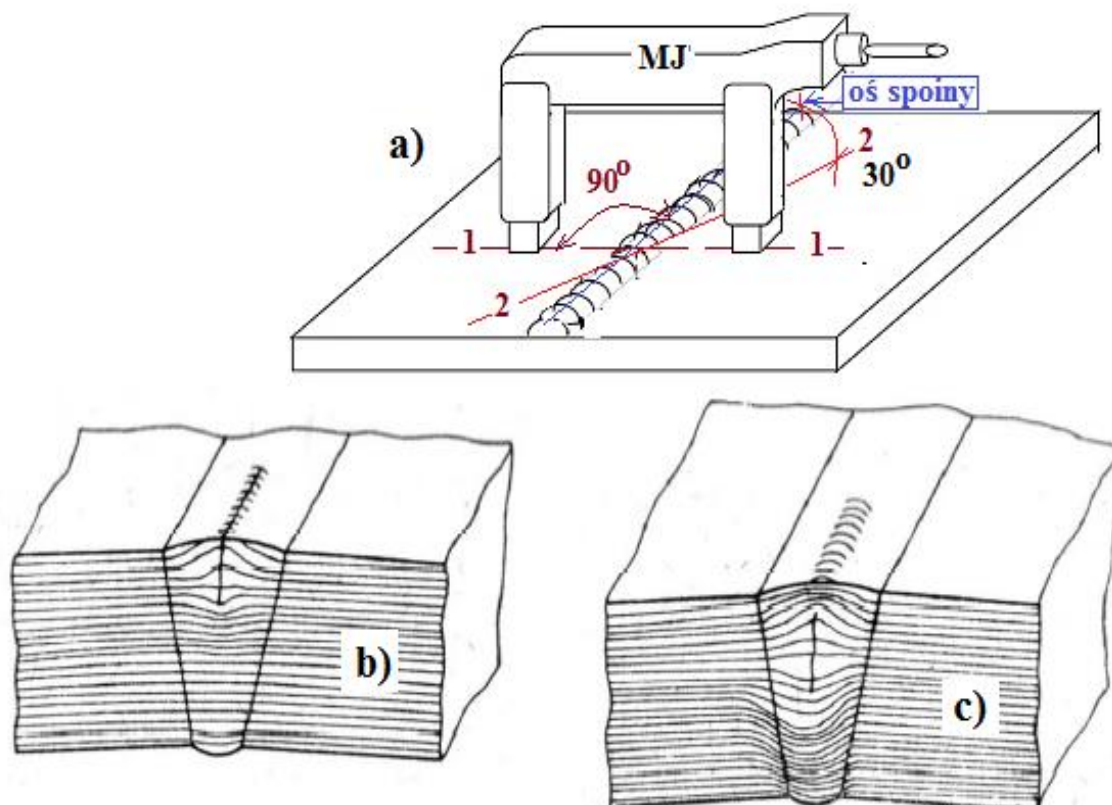
Symbol	Nazwa	Schemat	Symbol	Nazwa	Schemat
2011	pęcherz kulisty		5011 5012	podtopienie lica - ciągłe - przerywane	
515	wkłębienie w grani		511	niezpełne wypełnienie rowka	
402	brak przetopu w spoinie jednostronnej		502	nadmieru nadlew lica	
402	brak przetopu w spoinie dwustronnej		506	nawis	
504	wyciek grani		503	wypukłość spoiny pachwinowej	
5041	nierówność lica		512	asymetria spoiny pachwinowej	

**Metoda penetracyjna** polega na nanoszeniu odpowiedniego (zgodnie z normą PN-EN-ISO 3452-2) penetrantu na spoinę i minimum 10 mm po jej obydwu stronach, następnie wizualnie ocenia się stan struktury powierzchni. Warunki oświetlenia i czas badań też są określone wg odpowiednich norm.



Rys. 2. Przebieg badania penetracyjnego: a) czyszczenie powierzchni; b) nanoszenia penetrantu; c) usuwanie penetrantu; d) wywoływanie i oględziny.

**Metody magnetyczne proszkowe** w przeciwieństwie do badań penetracyjnych umożliwiają wykrycie wad wypełnionych produktami korozji, żużlami i innymi produktami produkcyjnymi. Nie jest wymagane usuwanie powłoki lakierniczej o grubości do 50mm. Oczyszczoną powierzchnię magnesuje się elektromagnesem jarzmowym (MJ – rys.3). Pod wpływem sił pola magnetycznego specjalny proszek rozpylony na powierzchni badanego elementu układa się zgodnie z kierunkiem przepływu tych linii. Wszelkie wady w strukturze materiału spowodują deformację kształtu linii sił pola magnetycznego, a więc spowodują anomalie w regularności ułożenia się drobin proszku. Analiza wzoru ułożenia drobin proszku pozwala na zlokalizowanie wad materiałowych. Podczas badania spoin zaleca się stosowanie pola magnetycznego stycznego o natężeniu 2,6 kA/m. Norma PN-EN 1290 zaleca stosowanie ustawienia biegunów magnesu w kierunku prostopadłym do osi spoiny. Odchylenie nie może przekroczyć kąta  $30^\circ$  (rys.3). Wykryte wady dokumentuje się metodami fotograficznymi, video, utrwalanie przezroczystym lakierem, przezroczystą taśmą przyklepną lub też szkicem.



Rys. 3. Metoda magnetyczna proszkowa: a) ustawienie elektromagnesu względem spoiny; układ linii sił na wadzie: b) powierzchniowej; c) podpowierzchniowej.

**Metoda radiograficzna** opiera się na wykorzystaniu zjawiska pochłaniania promieniowania przenikliwego X i gamma przez różne materiały oraz zjawiska fizykochemicznego, związanego z uzyskaniem radiograficznego obrazu na kliszy przez obróbkę fotochemiczną. Badania radiograficzne wykorzystywane są głównie do badania złączy spawanych i odlewów. Przy wykonywaniu badań radiograficznych niezbędny jest dostęp dwustronny do badanego obiektu. Z jednej strony znajduje się źródło promieniowania, natomiast z drugiej strony znajduje się detektor promieniowania (klisza rentgenowska). Na kliszy ukazuje się obraz radiograficzny, na którym badane złącze przedstawia się jako obraz cieniowy, z jasnym pasem spoiny (większa grubość) na ciemniejszym tle elementów łączonych (mniejsza grubość). Wady na obrazie radiograficznym ukazują się na tle jasnej spoiny lub w miejscu przejścia spoiny w materiał rodzimy jako ciemne pola o różnych kształtach.

Metodą radiograficzną wykrywa się w spoinach wady wewnętrzne typu:

- ✓ pęcherze gazowe – A;
- ✓ wtrącenia – B;
- ✓ przyklejenia – C;
- ✓ brak przetopu – D;
- ✓ pęknięcia – E;
- ✓ wady powierzchni i kształtu – F.

W tabeli 2 przedstawiona jest wizualizacja i opis wad wewnętrznych wykrywanych metodą radiograficzną.

**Metoda ultradźwiękowa** nadaje się szczególnie do wykrywania płaskich nieciągłości jak pęknięcia, przyklejenia lub rozwarstwienia. Nie odgrywa tu żadnej roli rozwarstość pęknięcia. Wielkość wad jest określana poprzez ich porównywanie wielkości ich echa z wielkością echa wad wzorcowych dla różnych odległości wady od powierzchni. Spoiny surowe nie szlifowane bada się głowicami skośnymi o kącie  $70^\circ$  i  $45^\circ$ , zaś złącza kątowe i teowe - głowicami normalnymi. Określenie wielkości wady jest utrudnione, gdy wymiar wady jest mniejszy od średnicy wiązki ultradźwiękowej. W tym wypadku porównuje się wysokość echa wady z wysokością echa wybranego reflektora odniesienia (wzorcowego - reflektor płaski kolisty o średnicy 0,5 do 3mm). Wady rzeczywiste nachylone skośnie do kierunku fal ultradźwiękowych odbijają tylko ich część powodując zmniejszenie wskazań na oscyloskopie. Wysokość echa wady o gładkiej powierzchni np. pęcherz gazowy będzie większa niż wysokość echa wady o tej samej wielkości, lecz chropowatej powierzchni jak w przypadku żuźla. W tym przypadku interpretacja wyników wymaga od oceniającego dużego doświadczenia i szerokiej wiedzy z zakresu procesów krystalizacyjnych, znajomości technologii spawania i materiałoznawstwa.



Tabela 2. Wady wewnętrzne wykrywane metodą radiograficzną (typ A i B) [4].


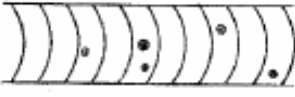

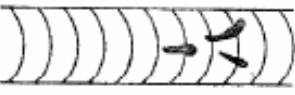

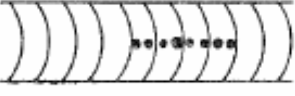
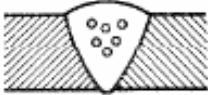
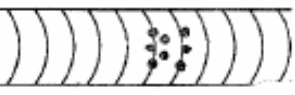



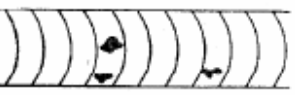




Symbol wady	Nazwa wady	Schematyczne określenie wady		Opis wady
		w przekroju złącza	na radiogramie	
1	2	3	4	5
<b>A — pęcherze (wtrącenia gazowe)</b>				
Aa	Pęcherz kulisty			długość większa od trzykrotnej maksymalnej szerokości; główny wymiar skierowany w głąb spoiny (prostopadły lub skośny do podłużnej osi spoiny)
Ab	Pęcherz kanalikowy			
Ac	Łańcuch pęcherzy			
Ad	Gniazdo pęcherzy			
Ae	Pęcherz podłużny			
<b>B — wtrącenia stałe (żużel i wtrącenia metaliczne)</b>				
Ba	Żużel zwarty			długość większa od trzykrotnej maksymalnej szerokości
Bb	Żużel pasmowy			
Bc	Wtrącenie obcego metalu			

Tabela 2. cd. Wady wewnętrzne wykrywane metodą radiograficzną (typ C, D, E i F).

C — przyklejenia (brak wtopienia)			
Ca	Przyklejenie podłużne		
Cb	Przyklejenie międzywarstwowe		
D — niewłaściwy przetop			
Da	Wklęsnięcie grani		
Db	Brak przetopu spoiny jednostronnej		
Dc	Brak przetopu spoiny dwustronnej		
Ea	Pęknięcie podłużne		
Eb	Pęknięcie poprzeczne		
Ec	Pęknięcie promieniowe		
F — niewłaściwy kształt (wady powierzchni)			
Fa	Wyciek (nadmierny przetop)		
Fb	Nierówność lica		
Fc	Podtopienie lica		
Fd	Podtopienie grani		

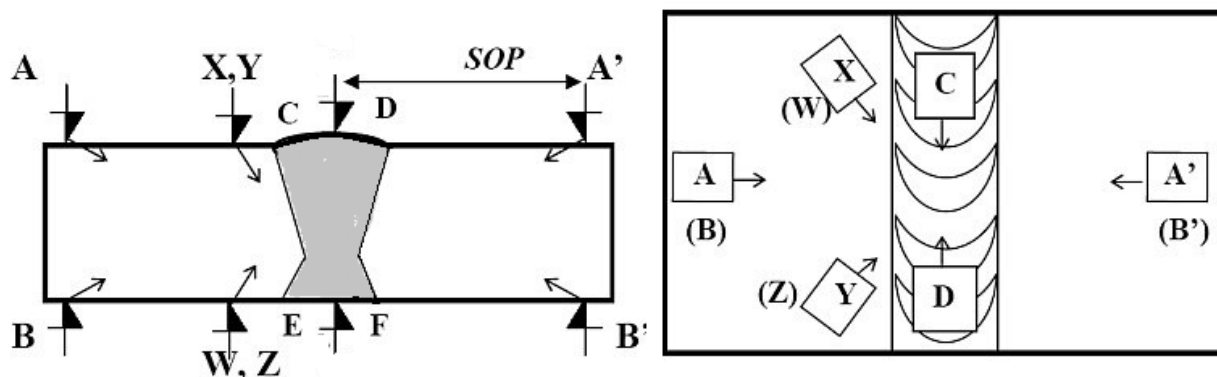


Dokładność oszacowania będzie zależec od kształtu wady i charakterystyki odbicia. Jeśli położenie wady będzie równoległe do kierunku wiązki ultradźwiękowej wada może zostać nie wykryta. W tym przypadku zachodzi konieczność stosowania kilku głowic o różnych kątach. Badanie złączy spawanych winno być poprzedzone sprawdzeniem łączonych elementów głowicą normalną N pod kątem rozwarstwienia materiału. Badanie złączy spawanych jest możliwe od grubości ok. 8mm (PN-EN 1712). Najbardziej wskazanym jest zakres grubości powyżej 15mm. Ograniczenie metody ultradźwiękowej dotyczy jakości przylegania głowicy do powierzchni badanego elementu. Jeżeli promień krzywizny jest mały wymagane jest stosowanie specjalnych głowic kształtowych dobranych do średnicy badanego elementu np. rury oraz stosowanie środków sprężających o znacznej gęstości. Rozpryski, wżery i naloty korozyjne chropowate powierzchnie utrudniają uzyskanie dobrej jakości sprzęgnięcia.

W tabeli 3 przedstawiono poziom badania B (PBA-B), a na rys. 4 obszary przeszukiwań.

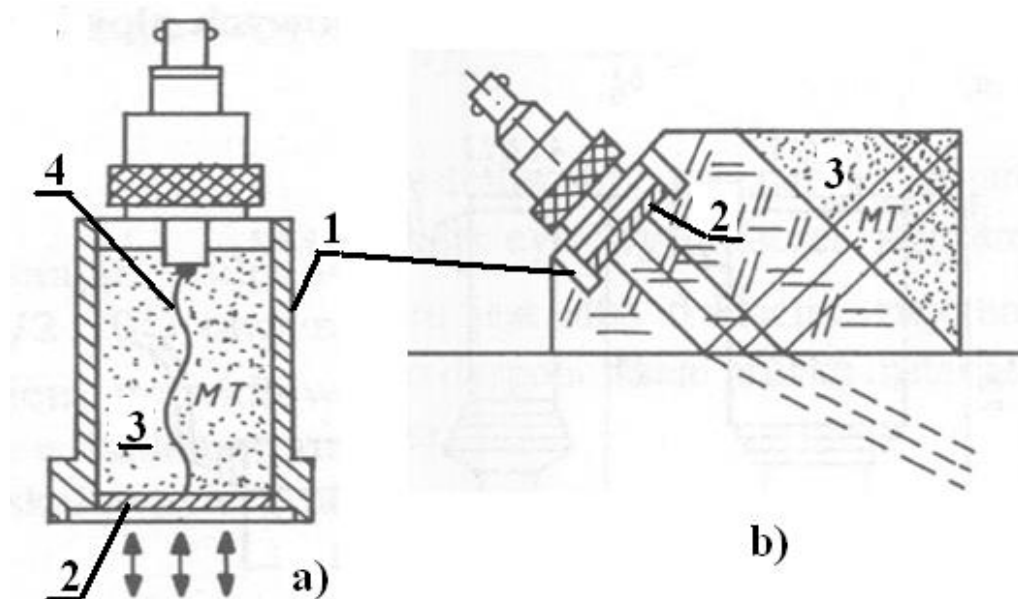
Tabela 3. Poziom badania B (PBA-B) złączy doczołowych blach i rur [6]

Rodzaj wskazań	Grubość g [mm]	Pozycja głowicy	SOP- szerokość obszaru przeszukiwania	Liczba kątów	Liczba przeszukiwań
podłużne	8/15	A lub B	1,25 p	1	2
	15/40 40/100			2	2
poprzeczne	8/40	(X i Y) lub (W i Z)		1	4
	40/60	(W i Z)		2	8
	60/100	(C i D) lub (E i F)		2	4



Rys. 4. Obszary przeszukiwania złączy doczołowych

Do badań ultradźwiękowych materiałów używa się głowic wytwarzających fale podłużne lub poprzeczne. Na rys. 5a przedstawiona jest budowa głowicy fal podłużnych, a 5b – poprzecznych.



Rys.5. Budowa głowicy: a) fal podłużnych; b) skośnej fal poprzecznych: 1 - obudowa, 2 - płytkę piezoelektryka (generatora drgań), 3 - materiał tłumiący fale odbite wewnątrz głowicy, 4 – elektroda doprowadzająca wysokoczęstotliwościowe napięcie zasilające.

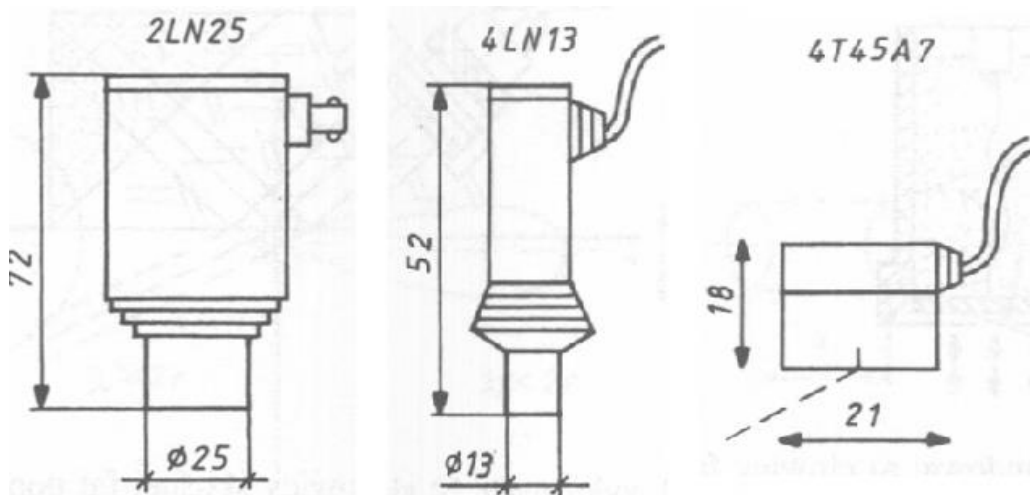
Materiały używane do budowy przetworników piezoelektrycznych to: kwarc, piezomagnetyki, materiały ceramiczne (np. tytanian baru). Moce źródeł ultradźwięków mogą być: małe – do 1 W/cm<sup>2</sup>; średnie – od 1-10 W/cm<sup>2</sup> i duże – od 10-100 W/cm<sup>2</sup>. Płytkę generatora fal wycina się w ten sposób, aby jej grubość  $a$  spełniała zależność (1), a więc była wielokrotnością jej częstotliwości rezonansowej  $f_r$ :

$$a = \frac{\lambda}{2} n = n \frac{c}{2f_r}, \quad (1)$$

gdzie:  $\lambda$  - długość fali;

$n$  – liczba całkowita.

Głowice ultradźwiękowe mają specjalne oznaczenia w postaci szeregu złożonego z cyfr i liter (rys.6):



Rys.6. Przykłady konstrukcji głowic ultradźwiękowych [7].

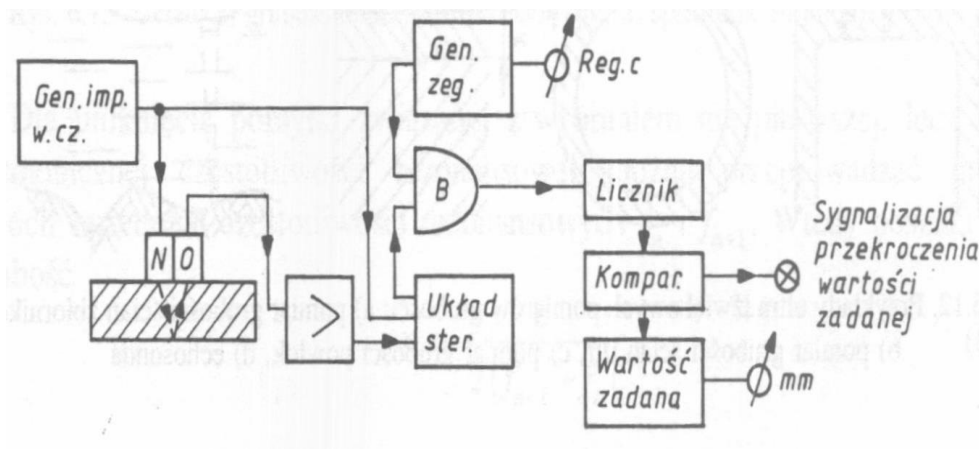
- ✓ **1 cyfra** – częstotliwość głowicy w MHz;
- ✓ **2 litera** – rodzaj fali (L- podłużna, T- poprzeczna, S-powierzchniowa);
- ✓ **3 symbol** – rodzaj głowicy (N- fal podłużnych, 45A -kątowna - kąt 45deg, D - podwójna, LT- głowica fal podłużnych nadawcza, LR - głowica fal podłużnych odbiorcza);
- ✓ **5 cyfra** – wymiar powierzchni promieniującej w mm;
- ✓ **6 symbol** – przeznaczenie głowicy (G –do grubościomierza, B – do betonoskopu, R80 – o powierzchni wklęsłej do badania rur średnica 80mm).

Głębokość zalegania wady metodą ultradźwiękową określa się przy pomocy pomiaru grubości warstwy materiału między głowicą i wadą. Pomiar grubości metodą ultradźwiękową może być zrealizowany następującymi metodami:

- pomiar grubości na podstawie zmierzonego czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez materiał badany  $x=f(t)$ ;
- pomiar grubości na podstawie zmierzonej wartości częstotliwości  $x=f(f)$ .

Na rys. 7 przedstawiony jest schemat blokowy grubościomierza ultradźwiękowego mierzącego grubość materiału na podstawie pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej. Sygnał z generatora zegarowego podawany jest na wejście bramki iloczynowej **B** (sygnał ten przejdzie dalej do licznika w momencie, gdy na wejście bramki **B** pojawi się impuls z układu sterowania). Na początku cyklu pracy wysyłany jest impuls z generatora wysokiej częstotliwości do głowicy nadawczej **N** grubościomierza i do układu sterującego (otwiera on w tym momencie bramkę **B** i licznik zaczyna zliczać impulsy z generatora zegarowego). Fala ultradźwiękowa z głowicy **N** przenika przez badany materiał i odbija się od przeciwległej ścianki i wraca do głowicy odbiorczej. Sygnał z głowicy odbiorczej

po wzmocnieniu skierowany zostaje do układu sterowania, który zmyka bramkę **B** i licznik przestaje zliczać impulsy. W rezultacie po odpowiednich przeliczeniach na wyświetlaczu pojawi się wynik pomiaru grubości badanego materiału.



Rys. 7. Schemat blokowy grubościomierza ultradźwiękowego  $x=f(t)$  [7].

Grubość  $x$  wyliczana jest na podstawie wzoru:

$$x = \frac{ct}{2} \quad (2)$$

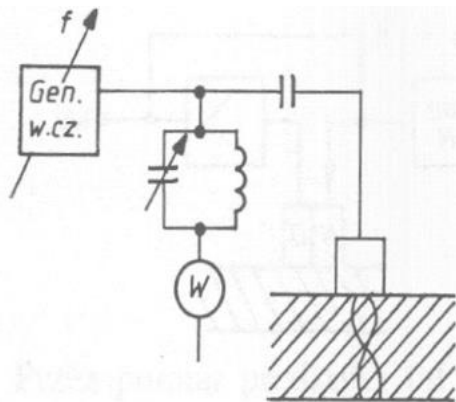
gdzie:  $c$  – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w badanym materiale;

$t$  – czas przejścia fali ultradźwiękowej przez materiał.

Jeżeli częstotliwość generatora dobierzemy według zależności (3), to wynik pomiaru  $x$  będzie w mm:

$$f_{zeg} = \frac{c}{2 \cdot 10^3} \Rightarrow x[mm] \quad (3)$$

Rysunek 8 przedstawia schemat blokowy grubościomierza realizującego algorytm  $x=f(f)$ .



Rys. 8. Schemat blokowy grubościomierza ultradźwiękowego  $x=f(f)$  [7].

Zasada działania jest następująca: regulujemy częstotliwością generatora wysokiej częstotliwości do momentu powstania w badanym materiale fali stojącej (sygnalizuje to maksimum wychylenia wskaźnika **W**). W tym momencie w grubości materiału powinno być  $n$  liczb półfal:

$$x = n\lambda/2.$$

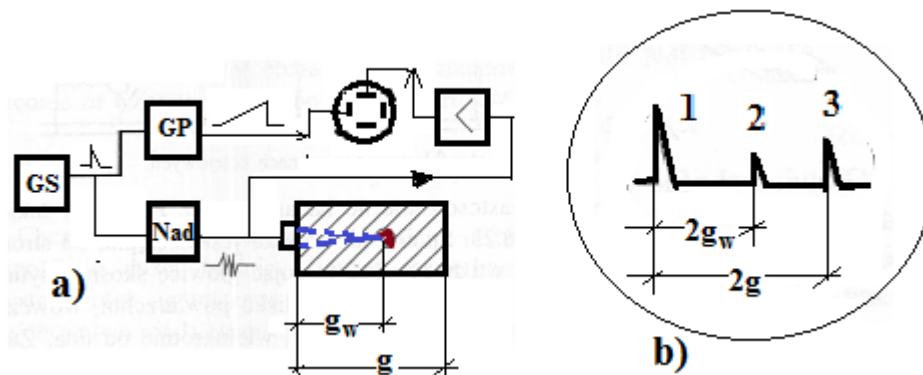
Wykorzystując znaną zależność prędkości propagacji fali i jej długości możemy zapisać:

$$f = nc/(2x)..$$

W celu wyeliminowania nieznanego parametru jakim jest liczba półfal  $n$  wykonujemy pomiary dla dwóch kolejnych częstotliwości, przy których występuje maksimum wskazań miernika **W**. Wtedy szukana grubość materiału określa się jako:

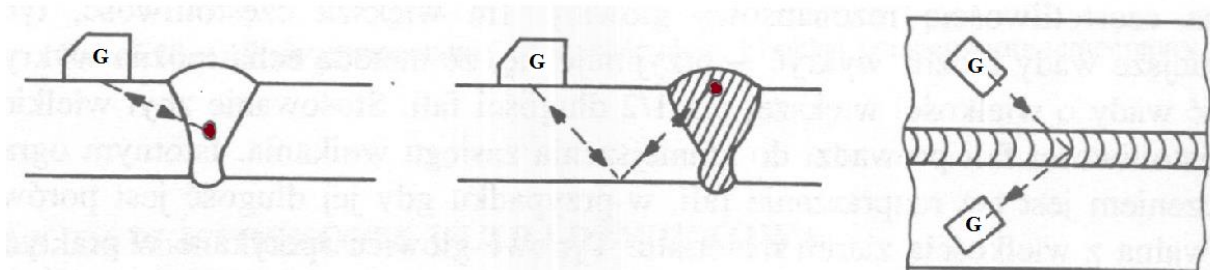
$$x = \frac{c}{2(f_{n+1} - f_n)}.$$

Rysunek 9 ilustruje metodę wykrywania wad przy pomocy ultradźwięków.



Rys. 9. Wykrywanie wad ultradźwiękami: a) schemat blokowy; b) widok impulsów na monitorze defektoskopu: **1** – impuls nadawczy; **2** – impuls powstały w wyniku odbicia fali ultradźwiękowej o wady; **3** – impuls odbicia fali od dna badanej próbki;  $g_w$  – głębokość zalegania wady;  $g$  – grubość próbki.

Przykłady ustawienia głowic ultradźwiękowych są przedstawione na rys. 10.



Rys. 10. Przykłady ustawień głowic podczas badania spoin [7].



## 2. OPIS DEFEKTOSKOPU DI 60

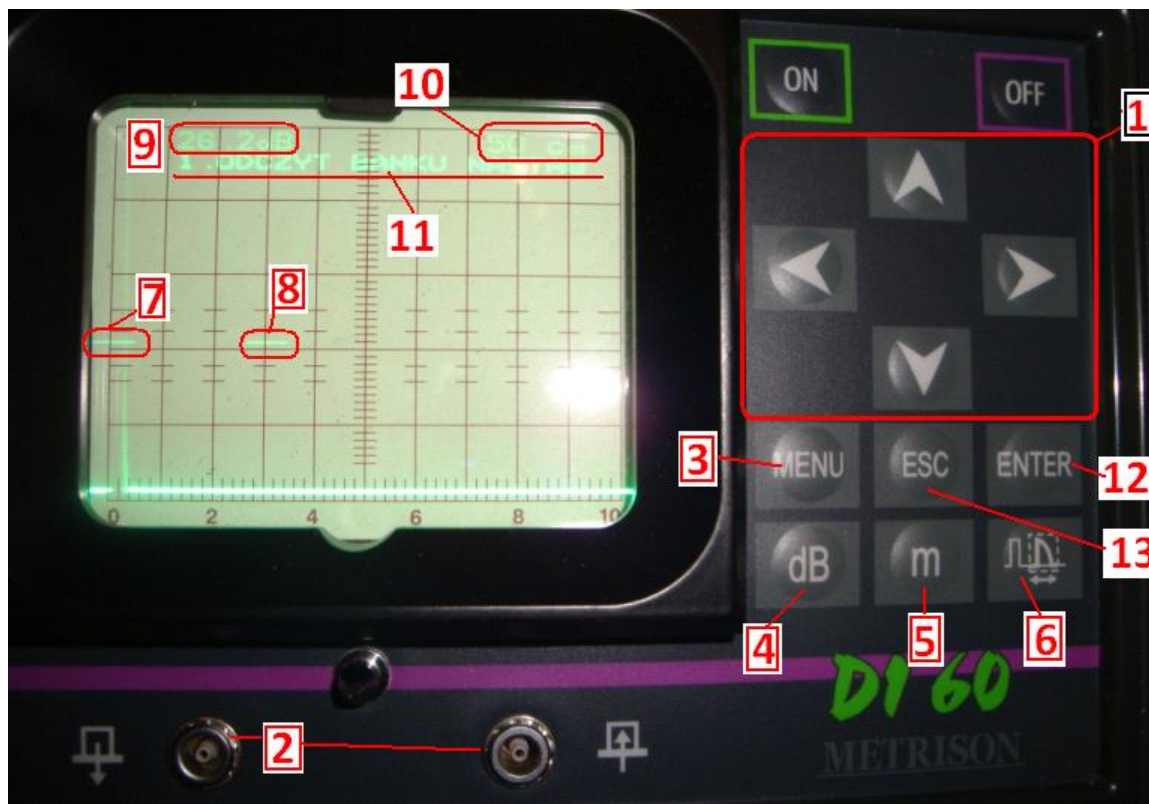
Defektoskop DI 60 to uniwersalny przyrząd pomiarowy wykorzystujący technikę pomiarową opartą na ultradźwiękach. Defektoskop DI 60 przeznaczony jest do szybkich i nieniszczących badań defektoskopowych pozwalających na wykrycie wad:

- konstrukcji stalowych;
- połączeń spawanych;
- odkuwek i odlewów;
- wyrobów walcowanych, np. szyn kolejowych, profili budowlanych i konstrukcyjnych;
- wszelkich wad materiałów, przez które przechodzi fala ultradźwiękowa.

Defektoskop DI 60 mierzy grubość ścian konstrukcji jednostronnie dostępnych takich jak: zbiorniki i cysterny, rurociągi, kotły, kadłuby statków itp.

<b>Dane techniczne [8]</b>	
<b>Konstrukcja</b>	przystosowana do pracy w terenie
<b>Znamionowe warunki pracy</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zakres obserwacji ustawiony fabrycznie</li> <li>• zakres obserwacji ustawiany płynnie przez użytkownika</li> <li>• zakres prędkości fal</li> <li>• zakres opóźnienia</li> <li>• częstotliwość powtarzania</li> <li>• zakres regulacji wzmocnienia</li> <li>• podcięcie</li> <li>• dynamika zobrazowania</li> </ul>	2-5-10-20-25-50-100-200-500 cm  od 2 do 500 cm od 1 000 do 20 000 m/s od 0 do 50 cm w stali od 0,1 do 3 kHz od 0 do 100 dB, skokowo co 0,1 dB regulowane płynnie 26 dB
<b>Banki kalibracyjne</b>	10 banków
<b>Współpraca z urządzeniami zewnętrznymi</b>	współpraca z komputerem i drukarką przez interfejs szeregowy RS232C
<b>Zasilanie</b>	za pośrednictwem zasilacza - ładowarki z sieci prądu przemiennego od 100V do 240V, w terenie z akumulatora 6V
<b>Zakres temperatur pracy</b>	od - 20 ° C do 50 ° C
<b>Czas pracy ciąglej (zasilanie z akumulatora)</b>	ok. 8 h
<b>Wymiary zewnętrzne</b>	135 x 260 x 185 mm
<b>Masa</b>	4 kg

Rysunek 11 przedstawia płytę czołową defektoskopu DI 60.



Rys. 11. Płyta czołowa defektoskopu DI 60: **1** – pole przycisków sterowania nastawami przyrządu; **2**-gniazda przyłączania głowic ultradźwiękowych; **3** – (**MENU**) przycisk włączania listy opcji; **4** – (**dB**) sterowanie wzmocnieniem, wyłączenie automatyki; **5** – (**m**) sterowanie zasięgiem (podstawa czasu); **6** – sterowanie opóźnieniem; **7** – marker monitora pierwszego; **8** – marker monitora drugiego; **9** – pole wyświetlania wartości wzmocnienia; **10** - pole wyświetlania wartości zakresu pomiarowego; **11** - pole wyświetlania listy opcji; **12** – (**ENTER**) przycisk potwierdzenia wyboru opcji lub zakończenia wprowadzania danej; **13** - (**ESC**) przycisk przejścia do menu nadrzędnego lub rezygnacja z wyboru opcji; **ON** – włączenie przyrządu; **OFF** - wyłączenie przyrządu.

Sterowanie podstawą czasu (**m**) odbywa się za pomocą przycisków poprzez naciskanie przycisków kierunkowych  $\leftarrow\rightarrow$ .

Możliwe opcje sterowania:

- **M** – skokowa - jest dostępna, gdy po kolejnym wciskaniu przycisku **m** (rys.5) pojawi się w górnym prawym rogu ekranu (pod wartością zakresu pomiarowego 10 – rys.11) napis  $\leftarrow\rightarrow$  **M**. Skokowa regulacja jest możliwa w zakresie od 2-500 cm;

- **MZ** – płynna regulacja możliwa jest w zakresie od 2-500 cm (opcja aktywna, gdy po kolejnym wcisnięciu przycisku **m** pojawi się w górnym prawym rogu ekranu napis  $\longleftrightarrow$  **MZ**);
- **LUP** – zmiana wielkości opóźnienia (jest dostępna, gdy pojawi się w górnym prawym rogu ekranu napis  $\longleftrightarrow$  **LUP**);
- **M1** – regulacja położenia na ekranie monitora 1 (aktywna, gdy jest napis górnym prawym rogu ekranu  $\longleftrightarrow$  **M1**);
- **M1R** – regulacja położenia prawego końca linii monitora 1 (jego szerokości). Dostępna, gdy pojawi się napis górnym prawym rogu ekranu  $\longleftrightarrow$  **M1R**;
- **M2** – regulacja położenia na ekranie monitora 2 (aktywna, gdy jest napis górnym prawym rogu ekranu  $\longleftrightarrow$  **M2**);
- **M2R** – regulacja położenia prawego końca linii monitora 2 (jego szerokości). Dostępna, gdy pojawi się napis górnym prawym rogu ekranu  $\longleftrightarrow$  **M2R**.

Defektoskop DI 60 charakteryzuje się:

- zaprogramowanymi fabrycznie skalami OWR pozwalającymi na dokładne określenie wielkości i położenia wady;
- pamięcią 300 wyników pomiarów wraz z nastawami, datą oraz dokładnym czasem pomiaru;
- pomiarem tłumienia, prędkości i odległości;
- dwoma niezależnymi monitorami w kanale;
- zakresami obserwacji nastawianymi płynnie od 2 do 500 cm, lub skokowo w zakresie: 2-5-10-20-50-100-200-500 cm;
- możliwością współpracy z komputerem;
- możliwością umieszczania pomiarów w bankach danych;
- możliwością współpracy z różnymi typami głowic produkcji METRISON oraz 10 głowicami innych dowolnych producentów;
- możliwością pracy w terenie;
- małymi gabarytami i masą;
- długim czasem pracy na zasilaniu bateryjnym (ok. 8 h);
- szczelną obudową IP-65 czyniącą go odpornym na zewnętrzne warunki atmosferyczne.

Sterowanie defektoskopem polega wyborze opcji z rozwijanego menu. Wybór opcji dokonuje się w sposób następujący:

- wcisnąć klawisz **MENU** i w polu wyświetlania listy opcji (**11** na rys.11) pojawi się tekst opcji pierwszej: **ODCZYT BANKU NASTAW**; korzystając

z klawiszy kierunkowych (**1** na rys.11) wybrać właściwą opcję i zatwierdzić klawiszem **ENTER**;

- po zatwierdzeniu opcji defektoskop wyświetla operatorowi określone polecenia, które należy wykonać zgodnie z ukazującymi się komunikatami;
- przechodzenie do menu nadrzędnego, rezygnacja z wyboru opcji lub wykonania polecenia odbywa się poprzez naciśnięcia klawisza **ESC**.

Lista opcji w menu defektoskopu DI 60:

- **ODCZYT BANKU NASTAW** – odczyt nastaw defektoskopu (mogą to być nastawy zapisane przez użytkownika w celu usprawnienia pracy w poszczególnych trybach pomiarów).
- **ZAPIS BANKU NASTAW** – zapis nastaw defektoskopu.
- **PRĘDKOŚĆ** – wybór prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej lub opcja pomiaru prędkości fali w badanym materiale:

<b>Rodzaj materiału</b>	<b>Prędkość fali</b> m/s
polietylen	2 000
polistyren	2 510
szkło organiczne	2 750
cyna	3 320
srebro	3 600
cynk	4 170
mosiądz	4 450
miedź	4 700
nikiel	5 630
stal	5 900
tytan	6 000
chrom	6 200
aluminium	6 260

- **TYP GŁOWICY** – wybór typu głowicy lub pomiar opóźnienia dobiegu.
- **MONITOR 1** – sterowanie monitorem 1:
  - **regulacja monitorów** – sterowanie przyciskami  $\leftarrow\rightarrow$  położeniem monitora na ekranie.
  - **rodzaj alarmu:**
    - **pozytywny** – wywołanie alarmu, gdy amplituda echa jest wyższa od wartości progowej;
    - **negatywny** - wywołanie alarmu, gdy amplituda echa jest poniżej wartości progowej.

- **alarm akustyczny** – sygnalizowanie dźwiękiem:
  - **al. akustyczny wł.** – włączenie alarmu akustycznego;
  - **al. akustyczny wył.** – wyłączenie alarmu akustycznego.
- **alarm optyczny** – sygnalizowanie alarmem optycznym:
  - **al. optyczny wł.** – włączenie alarmu optycznego;
  - **al. optyczny wył.** – wyłączenie alarmu optycznego.
- **monitor 1 wł/wył.:**
  - **monitor 1 włączony** – włączenie monitora 1;
  - **monitor 1 wyłączony** – wyłączenie monitora 1.
- **MONITOR 2** – sterowanie monitorem 2 – polecenia analogiczne jak w przypadku monitora 1.
- **POMIAR ODLEGŁOŚCI** – pomiar odległości ech między monitorami.
- **POMIAR TLUMIENIA** – pomiar tłumienia fali ultradźwiękowej.
- **POMIAR PRĘDKOŚCI** – pomiar prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej.
- **POMIAR WIELKOŚCI WADY** – pomiar rozmiaru wady równoważnej.
- **AUTOMATYKA** – sterowanie automatyką wzmocnienia:
  - **automatyka mon – 1** – sterownie automatyką wzmocnienia w monitorze 1;
  - **automatyka mon – 2** – sterownie automatyką wzmocnienia w monitorze 2;
  - **automatyka wyłączona** – wyłączenie automatyki wzmocnienia.
- **PODCIĘCIE** – sterowanie podcięciem.
- **ENERGIA** – sterowanie energią fali ultradźwiękowej w głowicy:
  - **duża;**
  - **mała.**
- **PRZENIKANIE** – wybór trybu pracy defektoskopu:
  - **jedna głowica;**
  - **dwie głowice.**
- **CZĘSTOTLIWOŚĆ POWTARZANIA** – sterowanie częstotliwością powtarzania:
  - **duża;**
  - **mała.**
- **KALIBRACJA ZASIĘGU** – płynne sterowanie zakresem obserwacji.
- **DRUKOWANIE** – komunikacja z komputerem lub drukarką.
- **JEDNOSTKI** – wybór jednostek, w których przedstawiane są nastawy i wyniki pomiarów:
  - **jednostki –  $\mu\text{m}$ ;**



- **jednostki – cm;**
- **jednostki – cale.**
- **JEZYK** – wybór języka w jakim wyświetlane będą komunikaty:
  - **język polski;**
  - **język angielski.**
- **STAN BATERII** – stan naładowania baterii w %.
- **DATA I CZAS** – data i czas wykonania pomiarów;
- **PAMIĘĆ WYNIKÓW** – przechowywane są wcześniej zapisane wyniki pomiarów.


## **2.1. POMIAR GRUBOŚCI DEFEKTOSKOPEM DI 60**

Pomiary grubości metodą ultradźwiękową opierają się na pomiarze czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez badany element. Warunkiem dokładnego pomiaru grubości jest niezmienna prędkość fali w mierzonym materiale. W materiale niejednorodnym w różnych jego obszarach występują różne wartości prędkości fali ultradźwiękowej. W tym przypadku do skalowania przyrządu należy zastosować wartość średnią prędkości. Na wartość prędkości fali ultradźwiękowej wpływa też temperatura, dlatego też powinno skalować przyrząd w tej temperaturze w jakiej będą przeprowadzane pomiary. Jeżeli jest to niemożliwe, to konieczne jest użycie tablic korekcyjnych wpływu temperatury na prędkości fali ultradźwiękowej.

Prędkość fali ultradźwiękowej zmienia się w momencie przejścia z jednego rodzaju materiału w drugi (różna akustyczna oporność falowa). Zmiana prędkości następuje np. w materiale platerowanym pokrytym warstwą farby lub lakieru, co w efekcie daje fałszywy odczyt pomiaru grubości. Brak przejścia fali ultradźwiękowej, a tym samym brak pomiaru może być spowodowany rozwarstwieniami w materiale, szczelinami, pęcherzami powietrza, złym przyleganiem powłoki lakierniczej lub niedostatecznym sprężeniem głowicy z mierzonym elementem. W celu lepszego przylegania głowicy stosuje się między innymi wodę, olej, glicerynę, itp. (im bardziej porowata jest badana powierzchnia, tym bardziej lepka substancja jest stosowana).

***W celu pomiaru grubości defektoskopem DI 60 należy:***

- włączyć defektoskop przyciskiem **ON** i odczekać kilkanaście sekund, w czasie których przyrząd przeprowadzi autotest;
- do końca przewodu pomiarowego umieszczonego w gnieździe **2** (rys. 11) dołączyć głowicę ultradźwiękową dla fal podłużnych (o okrągłym przekroju);

- wcisnąć przycisk **MENU** i następnie za pomocą przycisków kierunkowych ↓ wybrać opcję „**4. TYP GŁOWICY**”, zatwierdzić przyciskiem **ENTER**;
- przyciskiem ↑↓ wybrać typ głowicy **4L.0.10C** i zatwierdzić przyciskiem **ENTER**;
- wcisnąć przycisk **MENU** i następnie za pomocą przycisków kierunkowych ↓ wybrać opcję „**3. PRĘDKOŚĆ**”, zatwierdzić przyciskiem **ENTER**;
- przyciskiem ↓ wybrać wartość prędkości (np. **STAL v=5900m/s**) i zatwierdzić przyciskiem **ENTER**;
- wcisnąć przycisk **MENU** i następnie za pomocą przycisków kierunkowych ↓ wybrać opcję „**7. POMIAR ODLEGŁOŚCI**”, **ENTER**, „**UWZGLĘDNIĆ ZERO GŁOWICY**” - wybrać przyciskiem ↓ **NIE**;
- zwilżyć powierzchnię roboczą głowicy ultradźwiękowej olejem silikonowym (lub innym płynem) w celu zapewnienia jej dobrego kontaktu z powierzchnią próbki i ustawić ją centralnie na próbce;
- wciskając kilkakrotnie przycisk „**m**” wybrać opcję „**M2 ←→M**” i wciskać przycisk ← lub → tak, aby na ekranie widać było około 3-5 impulsów (gdy próbka nie zawiera wad, to odległość między kolejnymi impulsami jest równa jej grubości);
- jeżeli pierwszy impuls jest zbyt oddalony od zera na osi czasu, to wcisnąć przycisk  i gdy pojawi się opcja „**M2←→LUP**” przytrzymując przycisk ← lub → przesunąć przebiegi do punktu „**0**”;
- wcisnąć przycisk „**m**” i gdy pojawi się opcja „**M2 ←→MZ**” wciskając i przytrzymując przycisk ← lub → uzyskać na ekranie dokładnie 4 impulsy;
- wcisnąć 1 raz przycisk „**dB**” (wyłączenie automatycznej regulacji wzmocnienia) i przyciskami ↑↓ doprowadzić do tego, aby wszystkie widoczne impulsy przekraczały wysokością środkową linię ekranu (niektóre z impulsów mogą przy tym wychodzić poza ekran);
- wcisnąć przycisk „**m**” i gdy pojawi się opcja „**M2 ←→M1**” wciskając i przytrzymując przycisk ← lub → przesunąć kursor monitora **1**, tak aby jego początek lekko wystawał przed zbocze narastające drugiego impulsu (jeżeli kursor monitora **1** jest zbyt szeroki, to wciskając przycisk „**m**” za pomocą opcji „**M2 ←→M1R**” i przycisków ← lub → skrócić jego szerokość, tak aby prawy koniec kursora **M1** trochę wystawał za zbocze narastające drugiego impulsu);
- wcisnąć przycisk „**m**” i gdy pojawi się opcja „**M2 ←→M2**” wciskając i przytrzymując przycisk ← lub → przesunąć kursor monitora **1**, tak aby jego początek lekko wystawał przed zbocze narastające trzeciego impulsu (jeżeli kursor monitora **2** jest zbyt szeroki, to wciskając przycisk „**m**” za pomocą opcji „**M2 ←→M2R**” i przycisków ← lub → skrócić jego

szerokość, tak aby prawy koniec kursora **M2** trochę wystawał za zbocze narastające trzeciego impulsu;

- po wykonaniu tych operacji na ekranie pojawi się np. napis „**M1- 012.5cm-M2**”, co oznacza, że grubość mierzonej próbki wynosi 12,5 cm.

### 3. PRZEBIEG POMIARÓW

Pierwszym etapem ćwiczenia jest nabranie nawyków pracy z defektoskopem DI 60. W tym celu studenci wykorzystując informacje z rozdziału 2 powinni wykonać pomiary grubości próbek wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia oraz głębokości usytuowania wad. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4.

Tabela 4.

Nr próbki	Stal Nr 1						Stal Nr 2					
	Grubość próbki			Głębokość wady			Grubość próbki			Głębokość wady		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Suwmiarka elektroniczna												
Wart. średnia												
Defektoskop DI 60												
Wart. średnia												

Kolejnym etapem jest wykrywanie i identyfikacja wad spoin w próbkach wskazanych przez prowadzącego. W tym celu studenci powinni najpierw wyznaczyć prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w badanych próbkach wykonując następujące polecenia:

- a) wcisnąć przycisk „**MENU**” i następnie za pomocą przycisków kierunkowych ↓ wybrać opcję „**3. PRĘDKOŚĆ**”, zatwierdzić przyciskiem **ENTER**, pojawi się napis „**PRĘDKOŚĆ NIETYPOWA**”;
- b) przyciskiem → wybrać „**PRĘDKOŚĆ MIERZONA**” - zatwierdzić przyciskiem **ENTER**;
- c) w odpowiedzi na pytanie „**UWZGLĘDNIĄĆ ZERO GŁOWICY TAK?**” przyciskami ←→ wybrać „**NIE**” i zatwierdzić przyciskiem **ENTER**;
- d) zmierzyć suwmiarką grubość badanej próbki;
- e) zwilżyć powierzchnię roboczą głowicy ultradźwiękowej olejem silikonowym (lub innym płynem) w celu zapewnienia jej dobrego kontaktu z powierzchnią próbki i ustawić ją centralnie na próbce;

- f) wciskając kilkakrotnie przycisk „m” wybrać opcję „M2 ←→M” i wcisnąć przycisk ← lub → tak, aby na ekranie widać było około 3-5;
- g) wcisnąć przycisk „m” i gdy pojawi się opcja „M2 ←→MZ” wciskając i przytrzymując przycisk ← lub → uzyskać na ekranie dokładnie 5 impulsów;
- h) wcisnąć 1 raz przycisk „dB” (wyłączenie automatycznej regulacji wzmocnienia) i przyciskami ↑↓ doprowadzić do tego, aby wszystkie widoczne impulsy przekraczały wysokością środkową linię ekranu;
- i) wcisnąć przycisk „m” i gdy pojawi się opcja „M2 ←→M1” wciskając i przytrzymując przycisk ← lub → przesunąć kursor monitora 1, tak aby jego początek lekko wystawał przed zbocze narastające drugiego impulsu;
- j) wcisnąć przycisk „m” i gdy pojawi się opcja „M2 ←→M2” wciskając i przytrzymując przycisk ← lub → przesunąć kursor monitora 2, tak aby jego początek lekko wystawał przed zbocze narastające trzeciego impulsu;
- k) wcisnąć przycisk ENTER - pojawi się napis „RZECZ. ODLEGLOSC?” i „M1- 009.4-M2” (lub podobny). Przyciskami ←→ wprowadzić wartość grubości próbki zmierzoną w punkcie d i wcisnąć ENTER;
- l) zapisać wartość prędkości, która pojawi się na ekranie, w tabeli 5 i wcisnąć ENTER. Na pytanie „ZAPAMIĘTAĆ POMIAR” przyciskiem → wybrać „NIE”, wcisnąć ENTER.
- m) na pytanie „POWTÓRZYĆ POMIAR?” odpowiedzieć „TAK” wciskając ENTER;

Tabela 5.

	Jedn.	Stal Nr 1			Stal Nr 2		
		1	2	3	1	2	3
Prędkości fali podłużnej	m/s						
Wartość średnia	m/s						
Rodzaj wady							
Opis położenia wady (x/y/z) (suwmiarka)	mm	...../...../.....			...../...../.....		
Wielkość wady	mm						
Rodzaj wady							
Opis położenia wady (x/y/z) (defektoskop)	mm	...../...../.....			...../...../.....		
Wielkość wady	mm						

- n) powtórzyć pomiary dla pozostałych próbek wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia;
- o) jeżeli zostały przebadane już wszystkie próbki - wówczas na pytanie „**POWTÓRZYĆ POMIAR?**” przyciskiem → wybrać „**NIE**”, zatwierdzić **ENTER**;
- p) Wykonać obliczenia wartości średniej prędkości propagacji fali.

Następnie wykonać badania spoin we wskazanych próbkach uprzednio wpisując w pamięci DI 60 wartość średnią prędkości propagacji fali ultradźwiękowej otrzymanej w wyniku pomiarów (tabela 5). Do badań spoin kątowych i teowych użyć głowicę fal podłużnych, a do pozostałych głowicę kątową. Proces wykrywania wad polega na skanowaniu spoiny poprzez przesuw głowicy i obserwacji obrazu echa na monitorze. W przypadku wykrycia wady spoiny należy określić jej rodzaj i położenie, a rezultaty badań umieścić w tabeli 5.

***Sprawozdanie powinno zawierać:***

- wypełnione tabele pomiarowe podpisane przez prowadzącego;
- analizę uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń;
- wnioski.

#### **4. PYTANIA KONTROLNE**

1. Wymienić rodzaje badań nieniszczących i opisać istotę jednego z nich.
2. Opisać metodę pomiaru prędkości fali podłużnej.
3. Wymienić metody ultradźwiękowe pomiaru grubości i opisać jedną z nich.
4. Wymienić rodzaje wad spoin.
5. Opisać budowę i zasadę działania głowicy fal podłużnych.
6. Opisać budowę i zasadę działania głowicy fal poprzecznych.
7. Wyjaśnij istotę wykrywania wad metodą ultradźwiękową.

#### **5. LITERATURA**

1. PN-EN 26520 (PN-ISO 6520) Klasyfikacja niezgodności spawalniczych w złączach metalowych wraz z objaśnieniami.
2. PN-EN-ISO 3452-2 Badania nieniszczące. Badania penetracyjne.
3. PN-EN 1290 Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych.
4. PN-EN 1435 Badania radiograficzne złączy spawanych.
5. PN-EN 1714 Badania ultradźwiękowe złączy spawanych.
6. PN-EN 1712 Badania ultradźwiękowe złączy spawanych. Poziomy akceptacji.
7. Michalski A., Tumański S., Żyła B.: *Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych*. Oficyna wydawnicza PW, Warszawa 1999.
8. *Instrukcja obsługi defektoskopu DI 60*. Metrison, Mościska 2011.



## WYMAGANIA BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciw pożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.