

**POLITECHNIKA**  **BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA**



**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

**PODSTAWY TECHNIKI I TECHNOLOGII**

Kod przedmiotu: **ISO1123, INO1123**

Numer ćwiczenia: **8**

**Temat: Pomiar grubości materiałów z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej**

Opracowanie:

mgr inż. Elżbieta Krawczyk-Dembicka

Białystok 2015

## 1. WPROWADZENIE

Istnieje wiele różnych metod pomiarowych. W celu określenia grubości, wysokości czy np. średnicy elementu, dokonujemy wyboru najbardziej optymalnej metody pomiarowej. Najczęściej wykorzystywane metody to:

- *mechaniczna* (suwmiarki, mikrometry, czujniki zegarowe, itp.);
- *ultradźwiękowa* (szczegółowe omówienie w dalszej części instrukcji);
- *magnetyczna* (przetworniki wiroprądowe do pomiaru grubości materiałów niemagnetycznych);
- *pojemnościowa* (pomiar grubości warstwy dielektryka w obszarze między okładkami kondensatora);
- *izotopowa* (wykorzystujące zjawisko pochłaniania promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  przy przejściu przez warstwę badanego materiału).

W przypadku konieczności pomiaru grubości powłok (lakieru lub metalu) stosuje się następujące metody:

- magnetyczna;
- elektromagnetyczna;
- prądów wirowych;
- izotopowa;
- termoelektryczna.

**Metoda magnetyczna** jest wykorzystywana do pomiaru grubości pojedynczych powłok niemagnetycznych i niklowych lub wypadkowej grubości wielowarstwowych powłok niemagnetycznych na podłożu magnetycznym. Metody tej nie stosuje się do pomiarów grubości powłok niklowych w powłokach trójwarstwowych Cu-Ni-Cr oraz dwuwarstwowych Cu-Ni, gdy nieznana jest grubość warstwy miedzi. W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych wykorzystywanego przyrządu pomiarowego, wielkością mierzoną może być:

- siła potrzebna do oderwania magnesu stałego lub elektromagnesu od przedmiotu pokrytego badaną powłoką;
- siła, z jaką przyciągany jest poprzez powłokę magnes stały po podłożu magnetycznym;
- zmiana strumienia magnetycznego w chwili ustawienia nabiegunków przyrządu na przedmiocie pokrytym badaną powłoką.

**Metoda elektromagnetyczna** jest wykorzystywana do pomiaru grubości wszelkich pojedynczych powłok niemagnetycznych naniesionych na podłoże magnetyczne lub też do wyznaczania sumarycznej grubości wszelkich niemagnetycznych powłok wielowarstwowych naniesionych na podłoże magnetyczne. Nie należy stosować jej do pomiarów grubości powłok żelaznych, niklowych, kobaltowych oraz powłok wykonanych ze stopów magnetycznych. W zależności od konstrukcji przyrządu mierzona jest:

- wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym czujnika;
- zmiana indukcyjności czujnika.

**Metoda prądów wirowych** stosowana jest do pomiarów grubości:

- powłok izolacyjnych na podłożu metalowym niemagnetycznym, np. powłok tlenkowych, selenowych, fosforanowych, lakierowych, gumowych itp. wytwarzanych na aluminium, cynku, miedzi oraz stopach tych metali;
- powłok metalowych niemagnetycznych na podłożu niemetalowym, np. miedzianych, srebrnych na tworzywach sztucznych, ceramice, szkłe, itp.;
- niemagnetycznych powłok metalowych na niemagnetycznym podłożu metalowym, np. cyny na miedzi, złota na mosiądzu.

**Metoda radiometryczna** ma zastosowanie do pomiaru grubości powłok wykonanych z materiałów o znanym składzie chemicznym. Warunkiem koniecznym stosowania metody  $\beta$ -odbiciowej jest spełnienie następujących warunków:

- grubość podłoża musi być większa od warstwy nasycenia dla danego izotopu i materiału;
- grubość powłoki dla danego izotopu i rodzaju materiału musi być mniejsza od warstwy nasycenia;
- minimalna różnica w liczbach atomowych podłoża i powłoki musi wynosić co najmniej 5.

Przy pomiarze grubości powłok metodą  $\beta$ -odbiciową wykorzystuje się różnicę w intensywności odbijania promieni  $\beta$  przez różne materiały.

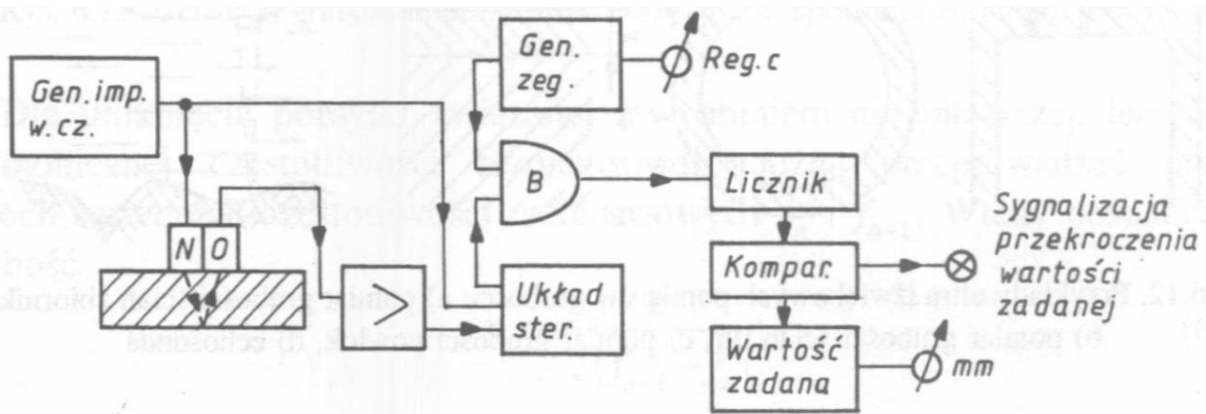
**Metoda termoelektryczna** ma zastosowanie przy pomiarach grubości niklowych powłok galwanicznych, nakładanych na stal, stal z podwarstwą miedzi, na miedź, mosiądz lub też na stopy Zn-Al. Wskazania zależne są od składu kąpieli i dlatego przyrząd musi być skalowany na wzorcach pokrytych powłoką niklową, nałożoną z takiej samej kąpieli jak powłoka na badanych przedmiotach. Pomiar polega na wykorzystaniu zjawiska powstawania termoogniwa pomiędzy niklem a metalem podłoża lub niklem a metalem podwarstwy.

**Metody ultradźwiękowe:**

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

- pomiar grubości na podstawie zmierzonej wartości częstotliwości  $x = f(f)$ .

Jednym z przyrządów wykorzystywanych w metodach ultradźwiękowych jest grubościomierz ultradźwiękowy, mierzący grubość materiału na podstawie pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej. Na Rys. 1 przedstawiono schemat blokowy grubościomierza. Sygnał z generatora zegarowego podawany jest na wejście bramki iloczynowej B (sygnał ten przejdzie dalej do licznika w momencie, gdy na wejściu 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 zostaje skierowany 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. 1. Schemat blokowy grubościomierza ultradźwiękowego  $x = f(t)$ .

Grubość  $x$  wyliczana jest na podstawie wzoru (1):

$$x = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

gdzie:

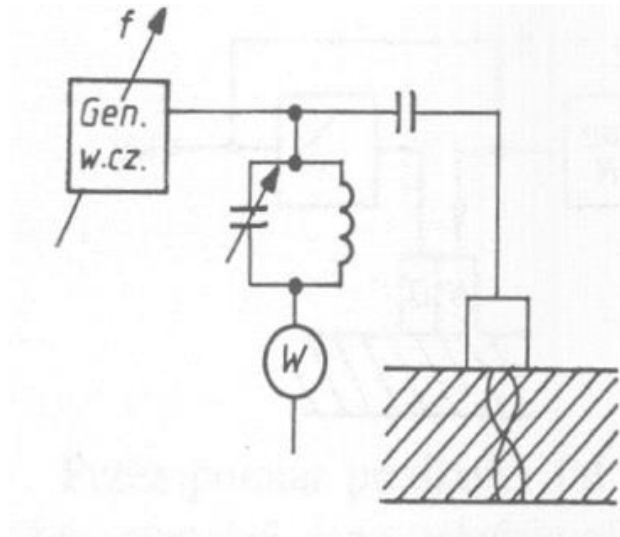
$c$  – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w badanym materiale;

$t$  – czas przejścia fali ultradźwiękowej przez materiał.

Jeżeli częstotliwość generatora dobierzemy według zależności (2), to wynik pomiaru  $x$  będzie w mm:

$$f_{zag} = \frac{c}{2 \cdot 10^3} \quad (2)$$

Schemat blokowy grubościomierza realizującego algorytm  $x = f(f)$  przedstawiono na Rys.2.



Rys. 4. Schemat blokowy grubościomierza ultradźwiękowego  $x = f(f)$ .

Zasada działania grubościomierza opiera się na regulacji częstotliwości 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:

$$x = \frac{n\lambda}{2}$$

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

$$x = \frac{nc}{2f}$$

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:

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

## 2. OPIS GRUBOŚCIOMIERZA SONO M610

Grubościomierz ultradźwiękowy *SONO M610* przeznaczony jest do szybkich nieniszczących pomiarów grubości materiałów o różnych kształtach, płaskich i profilowanych, a przede wszystkim do pomiarów grubości ścian jednostronnie dostępnych takich jak zbiorniki, rury, kadłuby statków, konstrukcje zamknięte, itp. W przypadku powierzchni zabezpieczonych powłoką ochronną, o grubości nie przekraczającej 1 mm, przyrząd mierzy grubość ścianki konstrukcji z pominięciem warstwy ochronnej z zastrzeżeniem, że grubość ściany jest nie mniejsza niż 5 mm.

Grubościomierz umożliwia pomiar grubości elementów wykonanych ze stali, aluminium, stopów np. miedzi, tworzyw sztucznych (plexi), szkła oraz innych materiałów (pod warunkiem, że przez materiały te przechodzi fala ultradźwiękowa). Ponadto może służyć do kontroli stopnia skorodowania elementów badanych.

Warunkiem dokładnego pomiaru grubości jest niezmienna prędkość fali w mierzonym materiale. Prędkość ta 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 sprzężeniem głowicy z mierzonym elementem.

Dzięki wszechstronnym możliwościom pomiarowym, grubościomierz ma szerokie zastosowanie zarówno w laboratoriach naukowo-badawczych, jak też we wszystkich komórkach kontroli oraz bezpośrednio w produkcji.

Grubościomierz ultradźwiękowy *SONO M610* składa się z elektronicznego układu pomiarowego zasilanego z akumulatorów, oraz dołączanej głowicy pomiarowej. Przyrząd przetwarza przy pomocy głowicy ultradźwiękowej impulsy elektryczne otrzymane z nadajnika na drgania ultradźwiękowe. Wprowadzona do mierzonego materiału fala ultradźwiękowa, a po odbiciu się od jego dna, wraca do głowicy. Czas jaki upływa od momentu wysłania impulsu do powrotu jest proporcjonalny do grubości badanego materiału.

Sygnały wejściowy i wyjściowy głowicy są przetwarzane przez układ mikroprocesorowy, a po obróbce matematycznej wynik jest wyświetlany na wyświetlaczu przyrządu. Mikroprocesor w zależności od realizowanej funkcji steruje transmisją danych z przetwornika do pamięci, na wyświetlacz, do komputera, drukarki lub blokuje przetwarzanie w chwili komunikacji z użytkownikiem.

Mikroprocesorowy układ sterowania umożliwia nie tylko wykonywanie pomiarów, ale pozwala także na rejestrację wybranych wyników, obróbkę statystyczną wyników zapisanych w pamięci (obliczanie parametrów ważnych dla statystycznej obróbki wyników pomiarów takich jak wartość maksymalna, minimalna i średnia), kontrolę stanu pamięci, zapamiętanie

wyników pomiarów w nieulotnej pamięci i wydrukowanie ich na drukarce lub przesłanie do komputera oraz wiele innych funkcji opisanych instrukcji obsługi.


Istotną cechą przyrządu jest możliwość wykonania jednopunktowej lub dwupunktowej kalibracji, znacznie poprawiającej jego parametry metrologiczne. Po wyłączeniu zasilania grubościomierza, parametry kalibracyjne zapamiętywane są automatycznie w pamięci nieulotnej i dlatego po ponownym włączeniu przyrząd nie wymaga kalibracji.

Przyrząd posiada funkcję automatycznego wyłączenia zasilania po upływie ok. 3 minut od wykonania ostatniego pomiaru.

Grubościomierz jest konstrukcją zamkniętą wyposażoną w:

- wyświetlacz ciekłokrystaliczny do wyświetlania wyników pomiarów, funkcji pomocniczych oraz komunikacji z użytkownikiem,
- klawiaturę służącą do sterowania grubościomierzem i wprowadzania niezbędnych danych,
- gniazdo RS232C umożliwiające połączenie z drukarką (wyposażoną w port szeregowy) lub komputerem oraz przesyłanie danych z pamięci grubościomierza,
- gniazda do podłączenia głowicy pomiarowej,
- gniazdo do podłączenia zasilacza – ładowarki.

Dane techniczne grubościomierza ultradźwiękowego SONO M610

	<b>Konstrukcja</b>	przystosowana do pomiarów w terenie
	<b>Metoda pomiaru</b>	ultradźwiękowa
	<b>Zakres pomiarowy</b> (z pominięciem warstwy lakieru)	od 1 do 199,9 mm od 2 do 199,9 mm
	<b>Dokładność pomiaru</b>	$\pm 1\% \pm 0,1$ mm
	<b>Zakres prędkości fali ultradźwiękowej w badanym materiale</b>	od 1000 do 10000 m/s
	<b>Pojemność pamięci</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1999 pomiarów</li> <li>– możliwość zakładania banków danych</li> <li>– możliwość oznaczania pomiarów datą</li> <li>– statystyka pomiarów (minimalna, średnia i największa grubość)</li> </ul>
	<b>Współpraca z urządzeniami zewnętrznymi</b>	współpraca z komputerem przez interfejs szeregowy RS232C
	<b>Zakres temperatur pracy</b>	od $-10^{\circ}\text{C}$ do $40^{\circ}\text{C}$
	<b>Czas pracy ciągłej</b> (zasilanie z akumulatora)	ok. 10 h
	<b>Zasilanie</b>	2 akumulatory 1,2 V
	<b>Wymiary zewnętrzne</b>	150 x 80 x 30 mm
	<b>Masa</b>	0,3 kg

### **Przygotowanie przyrządu do pracy**

Przygotowanie grubościomierza do pracy polega na połączeniu przyrządu z głowicą, umieszczeniu baterii akumulatorów w pojemniku znajdującym się na spodzie przyrządu oraz ewentualnie na przeprowadzeniu kalibracji. W tym celu należy:

- a) połączyć głowicę z przyrządem za pomocą gniazd znajdujących się w górnej części przyrządu (pamiętać należy o połączeniu ze sobą wtyku i gniazda oznaczonych tymi samymi kolorami – jeśli oznaczenia takie występują),
- b) włożyć dwa akumulatory do pojemnika znajdującego się na spodzie przyrządu (pamiętać należy o tym, aby biegunowość akumulatorów była zgodna z rysunkiem umieszczonym w pojemniku).

### **Uwagi przed przystąpieniem do pracy**

**UWAGA!** Przed rozpoczęciem pomiarów szczególnie, jeżeli pomiary są prowadzone w terenie należy bezwzględnie upewnić się czy akumulatory zasilające przyrząd są w stanie naładowania.

**UWAGA!** Wyczerpanie akumulatorów może spowodować przerwanie zapisywania danych pomiarowych do pamięci miernika.

### **Realizowane funkcje oraz praca z przyrządem**

Po włączeniu zasilania przyrządu klawiszem oznaczonym napisem ON, przyrząd przez chwilę wyświetla swój numer fabryczny, a następnie przechodzi do pomiaru grubości. W przypadku, gdy głowica nie przylega do badanego materiału, (brak środka sprzęgającego np. wody, oleju) lub, gdy przyrząd jest źle skalibrowany, na wyświetlaczu wyświetlany jest znak ~.

### **Wykonywanie pomiarów**

Po przystawieniu głowicy do badanego materiału na wyświetlaczu pojawia się mierzona grubość.

**UWAGA!** Powierzchnia materiału, do którego przykładamy głowicę ultradźwiękową powinna być możliwie gładka, a dla zapewnienia sprzężenia ultradźwiękowego należy ją pokryć środkiem sprzęgającym np. smarem stałym, oliwą lub wodą. Nierówności powierzchni oraz wszelkie zanieczyszczenia powodują pojawienie się różnych wartości pomiaru tego samego elementu.

**UWAGA!** Po włączeniu przyrządu i pierwszym przyłożeniu głowicy grubościomierza do badanego materiału następuje pomiar „zera” (następuje skalibrowanie przyrządu z głowicą). Następny pomiar i jego wynik wyświetlany na wyświetlaczu będzie wynikiem właściwym.



### 3. NIEPEWNOŚĆ POMIARU

Błąd pomiaru jest to różnica między wartością dokładną a wielkością zmierzoną. Niestety wartości dokładnej nigdy nie poznamy, więc i nie poznamy dokładnego błędu pomiaru. Jednak celem każdego pomiaru wykonywanego przez inżyniera (i nie tylko) jest podanie wielkości mierzonej wraz z pewną miarą niedokładności pomiaru. Jak wyznaczyć tę niedokładność?

W teorii pomiarów ta niedokładność nazywana jest niepewnością (*uncertainty*) i definiowana jest jako: „parametr, związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej”. Rozróżniamy **niepewność standardową** i **standardową złożoną**.

**Niepewność standardowa** (*standard uncertainty*) jest to niepewność wyniku pomiaru wyrażona jako odchylenie standardowe  $u(\hat{x}_i) = \sigma(\hat{x}_i)$  lub pierwiastek z estymaty wariancji  $s^2(\hat{x}_i)$ , jeżeli wariancja jest nieznana.

**Niepewność standardowa złożona** (*combined uncertainty*) wyznacza się jako wartość funkcji innych wielkości zwanych wejściowymi, wyrażoną w postaci zależności od wariancji lub estymat wariancji (to jest od kwadratów niepewności) wartości wielkości wejściowych przyjmowanych do obliczenia wyniku pomiaru.

Niepewność standardową oblicza się stosując dwie metody:

- **metodę typu A** opartą na rozkładach częstości;
- **metodę typu B** opartą na rozkładach danych lub przyjętych *a priori*.

**Niepewność typu A** ocenia się za pomocą metod statystycznych. Na podstawie serii  $N$  niezależnych pomiarów  $\hat{x}_k$  wielkości mierzonej  $X_i$  oblicza się wartość średnią  $\bar{x}_i$  wyniku pomiaru:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{x}_k \quad (3)$$

Niepewność standardową typu A wyznacza się jako odchylenie standardowe ze średniej:

$$u_A(\hat{x}_i) = s(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\hat{x}_k - \bar{x}_i)^2}{N(N-1)}} \quad (4)$$

Do wyznaczenia **niepewności typu B** niezbędne są informacje oparametrach metrologicznych aparatury pomiarowej (najczęściej wystarczy znajomość wartości błędu granicznego). Przy założonym jednostajnym rozkładzie błędów aparatury niepewność typu B oblicza się z zależności:

$$u_B^2 = \frac{\Delta g^2}{3} \quad \text{lub} \quad u_B = \frac{\Delta g}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

gdzie:  $\Delta_g$  błąd graniczny przyrządu pomiarowego (podany przez producenta).

**Złożoną niepewność standardową** wyznacza się z zależności:

$$U_C^2(\hat{x}) = U_A^2(\hat{x}) + U_B^2(\bar{x}) \quad (6)$$

Wielkość zmierzona powinna być przedstawiona w postaci:

$$\hat{X} = \bar{X} \pm U(\hat{x}) \quad (7)$$

Wielkość  $U(\hat{x})$  jest nazywana **niepewnością rozszerzoną** i oblicza się ją z wyrażenia:

$$U(\hat{x}) = k_p \cdot U_C(\hat{x}) \quad (8)$$

gdzie:

$k_p$  – współczynnik rozszerzenia (przy poziomie ufności  $p = 0,95$  –  $k_p = 2$ , a dla  $p = 0,9973$  –  $k_p = 3$ ).

Jeżeli  $U_B^2 \gg U_A^2$ , to niepewność rozszerzona  $U(\hat{x}) \approx \Delta_g$  (dla  $p = 0,9973$ ), natomiast gdy:  $U_A^2 \approx U_B^2$  wtedy niepewność rozszerzoną wyznaczamy z (8).

### Przykład 1.

Grubość pewnego elementu zmierzono czterokrotnie za pomocą suwmiarki i uzyskano następujące wyniki pomiaru:  $d=(71,7; 72,2; 70,5; 69,2)$  mm. Obliczyć i zapisać wynik pomiaru dla poziomu ufności  $p=0,9973$  ( $k_p=3$ ).

### Rozwiązanie:

Wartość średnia grubości zgodnie z (3) wynosi:

$$\bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 g_i = 70,9 \text{ mm}$$

**Niepewność standardowa typu A** (odchylenie standardowe średniej wartości grubości) wg wzoru (4):

$$U_A(g_i) = s(\bar{g}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{g}_i - \bar{g}_i)^2}{N(N-1)}} = 0,669 \approx 0,67 \text{ mm}$$

**Niepewność standardowa typu B:** zakładamy równomierny rozkład błędu suwmiarki, stąd:

$$U_B = \frac{\Delta_g}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,0577 \text{ mm}$$

W wyniku obliczeń otrzymujemy  $U_A \gg U_B$ , stąd też otrzymamy:

$$U(g) = k_p \cdot U_C \approx k_p \cdot U_A = 3 \cdot 0,67 = 2,01 \approx 2,0 \text{ mm}$$

Ostatecznie wynik pomiaru można zapisać w postaci:

$$g = \bar{g} \pm U(\hat{g}) = (70,9 \pm 2,0) \text{ mm}, \quad (k_p = 3 \text{ dla } p = 0,9973)$$

#### 4. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodami pomiaru grubości materiałów, z wykorzystaniem tradycyjnych narzędzi pomiarowych oraz grubościomierza ultradźwiękowego SONO M610.

Zakres ćwiczenia obejmuje wykonanie pomiaru grubości materiałów o różnych kształtach i przekrojach oraz porównanie wyników pomiarów otrzymanych z zastosowania różnych narzędzi pomiarowych.

#### 5. PRZEBIEG POMIARÓW

Kolejność czynności (pomiar elementów stalowych płaskich):

1. Zapoznać się z obsługą grubościomierza *SONO M610*
2. Wyskalować grubościomierz przed rozpoczęciem pomiaru
3. Wykonać pomiar każdego z trzech elementów wskazanych przez prowadzącego, wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 1
4. Uzupełnić Tabelę 1 wykorzystując metodykę obliczeń podaną w przykładzie 1
5. Wykonać pomiar średnicy elementów wskazanych przez prowadzącego, a wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 2
6. Uzupełnić Tabelę 2 wykorzystując metodykę obliczeń podaną w przykładzie 1
7. Wykonać pomiary elementów aluminiowych wskazanych przez prowadzącego, wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 3;
8. Uzupełnić Tabelę 3 wykorzystując metodykę obliczeń podaną w przykładzie 1;

**Stanowisko pomiarowe:**



**Sprawozdanie powinno zawierać**

1. Imiona, nazwiska, kierunek i rok studiów oraz nr grupy laboratoryjnej członków zespołu
2. Temat ćwiczenia
3. Datę wykonania ćwiczenia
4. Krótki opis stosowanej metody badawczej
5. Schemat stanowiska
6. Wyniki wykonanych pomiarów przedstawione w tabelach
7. Wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia

**Przykładowe pytania kontrolne:**

1. Wymienić i krótko scharakteryzować metody pomiaru grubości materiałów.
2. Omówić zasadę działania grubościomierza ultradźwiękowego.
3. Scharakteryzować niepewność pomiaru.

### **Przepisy BHP**

1. Prowadzący ćwiczenia laboratoryjne, przed przystąpieniem do ćwiczenia, zapoznaje studentów z obsługą stanowiska. Kontrolę przestrzegania przez studentów instrukcji BHP (przedstawioną na zajęciach wprowadzających) pełni prowadzący zajęcia.
2. Studenci obsługują stanowisko pod nadzorem prowadzącego.
3. Stanowiska niebezpieczne pod względem BHP obsługuje prowadzący, a w przypadku konieczności, po udzieleniu osobnego instruktażu, dopuszcza do obsługi stanowiska konieczną ilość studentów.
4. Studenci odbywający ćwiczenia zobowiązani są do zachowania maksymalnej ostrożności i uwagi przy obsłudze stanowiska i absolutnego stosowania się do zaleceń prowadzącego.
5. Podczas pobytu przy stanowisku laboratoryjnym zabrania się studentom wykonywania jakichkolwiek czynności, które nie są związane z realizowanym ćwiczeniem.

### **Literatura przedmiotu**

1. Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik. Główny Urząd Miar, 1999, ISBN 83-906546-1-x.
2. Instrukcja obsługi grubościomierza ultradźwiękowego SONO M610. Metrison Sp. z o.o. Mościska 2009.
3. U. Fischer, M. Heinzler, F. Näher, H. Paetzold, R. Gomeringer, R. Kilgus, S. Oesterle, A. Stephan, oprac. merytor. wersji pol. J. Potrykus [tł. z niem.], *Poradnik mechanika*, Wydawnictwo REA, Warszawa 2014.
4. A. Górecki, *Technologia ogólna: podstawy technologii mechanicznych*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2014.
5. M. Miłek, *Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych*, WSP Zielona Góra 2006

**Tabela 1**

Metoda pomiaru grubości	$g_{x_1i}$	$U(\hat{g}_{x_1})$	$g_{x_2i}$	$U(\hat{g}_{x_2})$	$g_{x_3i}$	$U(\hat{g}_{x_3})$	$g_1 = g_{x_1} \pm U(\hat{g}_{x_1})$	$g_2 = g_{x_2} \pm U(\hat{g}_{x_2})$	$g_3 = g_{x_3} \pm U(\hat{g}_{x_3})$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Suwmiarka									
Suwmiarka elektroniczna									
Mikrometr									
Grubościomierz SONO M610									

**Tabela 2**

Metoda pomiaru grubości	$\phi_{x_1i}$	$U(\hat{\phi}_{x_1})$	$\phi_{x_2i}$	$U(\hat{\phi}_{x_2})$	$\phi_1 = \phi_{x_1} \pm U(\hat{\phi}_{x_1})$	$\phi_2 = \phi_{x_2} \pm U(\hat{\phi}_{x_2})$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Suwmiarka						
Suwmiarka elektroniczna						
Mikrometr						
Grubościomierz SONO M610						

**Tabela 3**

Metoda pomiaru grubości	$g_{x_1i}$	$U(\hat{g}_{x_1})$	$g_{x_2i}$	$U(\hat{g}_{x_2})$	$g_1 = g_{x_1} \pm U(\hat{g}_{x_1})$	$g_2 = g_{x_2} \pm U(\hat{g}_{x_2})$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Suwmiarka						
Suwmiarka elektroniczna						
Mikrometr						
Grubościomierz SONO M610						