

Laboratorium metrologii

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

Temat ćwiczenia: Pomiar kątów i stożków

Opracowała mgr inż. Monika Nowak
Szczecin 2013

Spis Treści

Wprowadzenie.....	2
1. Cel ćwiczenia.....	2
2. Wymagany zakres wiedzy.....	2
2.1 Miary kąta	2
2.2 Rodzaje mierzonych kątów i ich tolerancje	3
2.3 Narzędzia i przyrządy do bezpośrednich pomiarów kąta.....	5
2.4 Pośrednie metody pomiarów kątów i stożków.....	10
3. Pytania kontrolne.....	14
4. Przebieg ćwiczenia.....	14
5. Sprawozdanie	14
Literatura	14

Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie powstało jako pomoc do ćwiczeń laboratoryjnych z miernictwa warsztatowego, metrologii i systemów pomiarowych, metrologii oraz podstaw metrologii odrabianych przez studentów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie.

Instrukcja ta zawiera podstawy teoretyczne dla pomiarów bezpośrednich i pośrednich kątów i stożków, cel ćwiczenia, stanowisko pomiarowe oraz przebieg pomiaru.

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami i narzędziami do pomiarów kątów przez praktyczne wykonanie pomiarów wybranymi narzędziami, oraz określenie niedokładności pomiarów i zakresu zastosowanych metod.

2. Wymagany zakres wiedzy

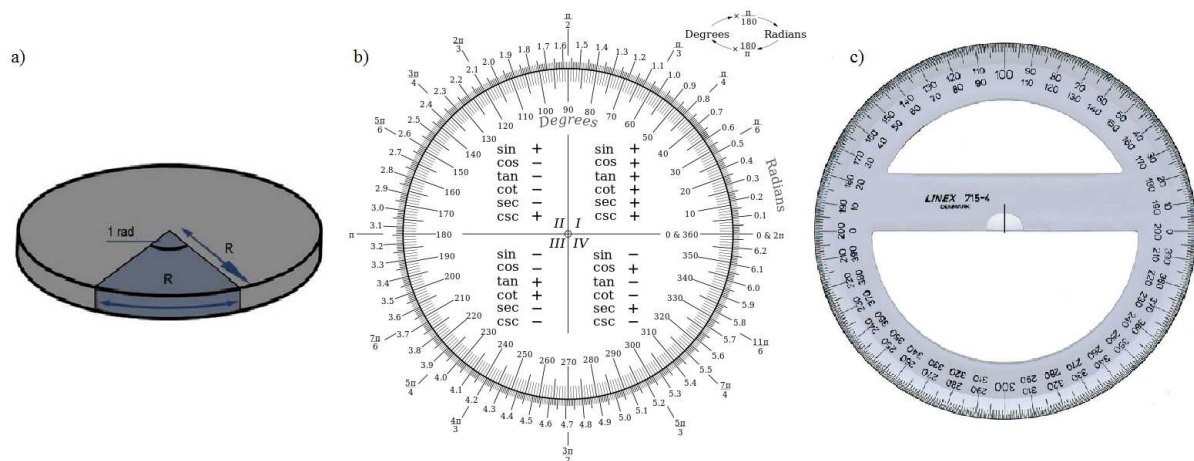
Przed przystąpieniem do ćwiczeń należy zapoznać się z zawartością:

- niniejszego opracowania,
- rozdziałem 14 książki [1],
- rozdziałem 2 i 11 książki [2],
- rozdziałem 6 książki [5]
- opcjonalnie pozycją [4] i [6];
- pozycją [7].

2.1 Miary kąta

Podstawową jednostką kąta jest **radian** definiowany jako kąt płaski oparty na łuku o długości równej promieniowi koła i wierzchołku w środku tego koła. Dowolny kąt może być

odtworzony zawsze, przez podział kąta pełnego na określone części, a niedokładność pomiaru zależy będzie od niedokładności podziału.



Rysunek 2-1 Jednostki miary kątów: a) definicja miary łukowej kąta prostego, b) powiązanie miary łukowej i stopniowej, c) przykład kątomierza o podziałce wyrażonej w stopniach i gradach

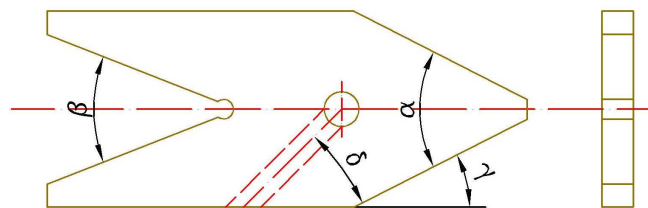
W życiu codziennym używa się zwykle **miary stopniowej**. Kąt pełny dzielimy na 360 stopni kątowych (symbol: $^{\circ}$), każdy z nich na 60 minut kątowych (symbol: $'$), a każdą z nich na 60 sekund kątowych (symbol: $''$). Ułamki sekund kątowych podawane są już dziesiętnie. Tę właśnie miarę wykorzystuje się w popularnych kątomierzach.

W praktyce militarnej i geodezyjnej stosowany bywa podział kąta pełnego na 400 **gradów** (lub **gradusów**, symbol: $^{\text{g}}$), z których każdy dzieli się na 100 centygradów (symbol: $^{\text{c}}$), a każdy z nich na 100 myriogradów (symbol: $^{\text{m}}$). Podział taki ułatwia ręczne (pisemne) dodawanie i odejmowanie, ponieważ przeniesienia i pożyczki wykonuje się jak przy zwykłych liczbach dziesiętnych, bez konieczności przeliczania na 60 i 90 jednostek.

2.2 Rodzaje mierzonych kątów i ich tolerancje

Kąt określa rozwartość przecinających się ze sobą lub w przedłużeniu krawędzi czy powierzchni, które tworzą ramiona kąta (rys. 2-2). W metrologii rozróżnia się kąt:

- **zewnątrzny**, kąt α określa rozwartość ramion w przestrzeni ograniczonej krawędziami lub powierzchniami przedmiotu wypełnionej materiałem;
- **wewnętrzny**, kąt β określa rozwartość ramion w przestrzeni ograniczonej krawędziami lub powierzchniami przedmiotu, nie wypełnionej materiałem;
- **mieszany**, kąt γ między kątem zewnętrznym i wewnętrznym;
- **pośredni**, kąt δ .



Rysunek 2-2 Wzorec kątowy

Tolerancja kąta płaskiego może być wyrażana poprzez:

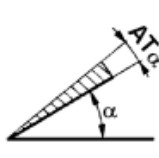
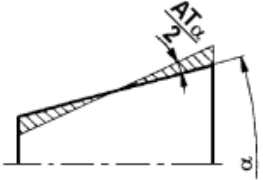
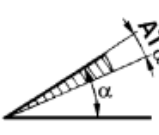
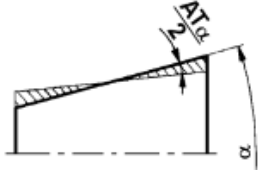
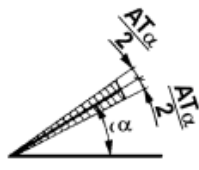
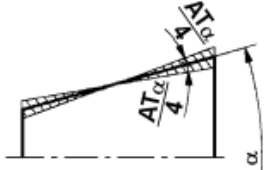
- jednostki kąta płaskiego (rad lub °, ', ")
- jednostki długości (AT h dla krótszego ramienia L 1)
- klasę dokładności.

Tabela 2.1 Tolerancje kątów w budowie maszyn (wyciąg z PN-77/M-02136)

Klasy dokładności	Zastosowanie
1-2	Zarezerwowane dla przyszłego rozwoju techniki – jeśli powstaną techniczne możliwości realizacji tej dokładności
3-5	Wzorce i przeciwzorce, sprawdziany i przeciw sprawdziany, wałki napędowe pomp wtryskowych itp.
6-8	Wyroby dokładne, np. stożki narzędziowe, sprzęgła cierne, części przenoszące większe momenty obrotowe, wałki rozrzędu itp.
9-11	Wyroby średniodokładne, np. prowadnice, stożki środkujące osie, elementy podlegające dopasowaniu w skrzynkach przekładniowych i sprzęgłach itp.
12-17	Wyroby zgrubne, którym nie stawia się specjalnych wymagań

Tolerancja kąta zależy od długości krótszego ramienia kąta oraz od przyjętej klasy dokładności. W budowie maszyn, wg PN-77/M-02136, przyjęto 17 klas dokładności wykonania kątów płaskich (tab.2.1). Zakłada się trzy możliwości położenia pola tolerancji: – na zewnątrz materiału, – w głąb materiału lub – symetrycznie względem kąta nominalnego (tab. 2.2).

Tabela 2.2 Położenie pól tolerancji względem kąta nominalnego

Położenie pola tolerancji kąta	Odchyłki	Szkic	
		Kąt elementu pryzmowego	Kąt stożka
+AT	$\alpha + AT$		
-AT	$\alpha - AT$		
$\pm AT$	$\alpha \pm \frac{AT}{2}$ ¹⁾		
¹⁾ W przypadkach uzasadnionych dopuszcza się odchyłki dwustronne niesymetryczne			

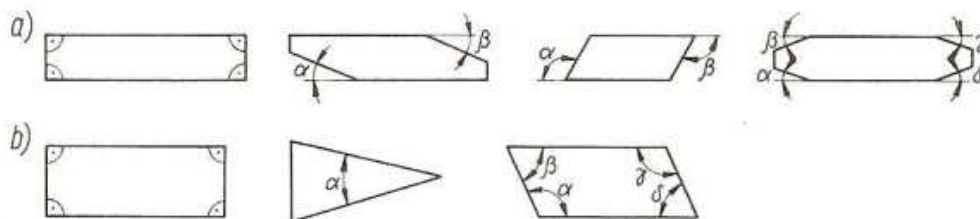
2.3 Narzędzia i przyrządy do bezpośrednich pomiarów kąta

- **Wzorce kąta**

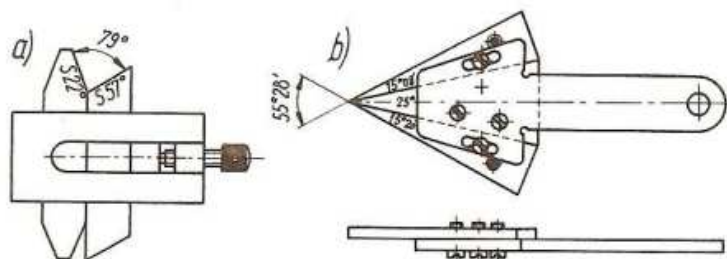
Płytki wzorcowe kątowe - służą do bezpośredniego pomiaru bądź ustawienia kąta oraz do sprawdzania narzędzi do pomiarów kątów. Wykonywane są w 3 klasach dokładności: 0, 1 i 2. Płytki klasy 0 nie są oznaczane, natomiast klasy 1 i 2 posiadają oznaczenie dokładności. Dokładności kątów płytek wynoszą:

- ± 3" w płytkach jedno- i czterokątnych klasy 0,
- ± 5" w płytkach wielokątnych klasy 0,
- ± 10" we wszystkich rodzajach płytek klasy 1,
- ± 30" we wszystkich rodzajach płytek klasy 2.

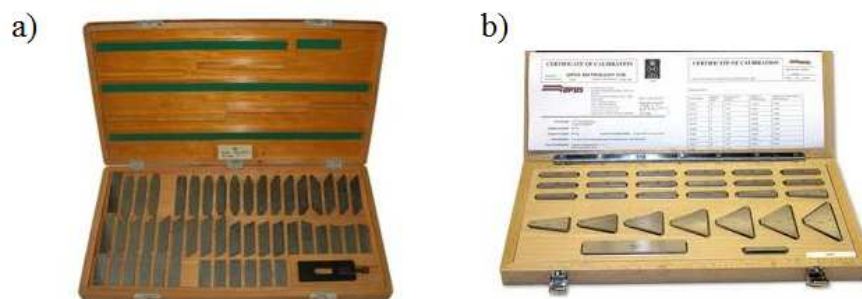
Kąty wzorcowe mogą odtwarzać pojedyncze płytki lub ich zestawy np. dwie lub więcej płytek odpowiednio ze sobą zestawionych. Płytki **nieprzywieralne** (tzw. cienkie o grubości ok. 2 mm) można łączyć ze sobą przez mocowanie w specjalnym uchwycie (rys. 2-5.a), natomiast **przywieralne** (rys. 2-5.b), tzw. grube, przez przywarcie - podobnie jak płytki wzorcowe długości.



Rysunek 2-3 Płytki kątowe wzorcowe: a) Johanssona, b) Kuszniakowa



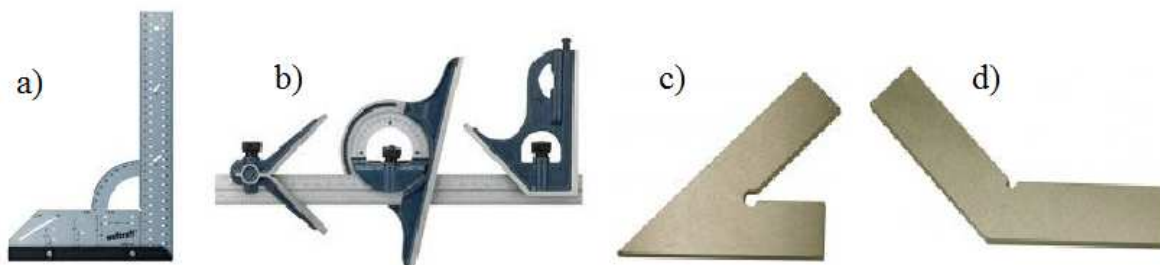
Rysunek 2-4 Sposoby kompletowania wzorcowych płytek kątowych: a) Johanssona, b) Kuszniakowa



Rysunek 2-5 Zestaw płytek kątowych: a) składanych w uchwycie, b) przywieralnych

Kątowniki są wzorcami kąta prostego, ale mogą odwzorowywać też inne kąty stosowane np. w budowie maszyn lub w budownictwie (rys. 2-6). Można je podzielić ze względu na

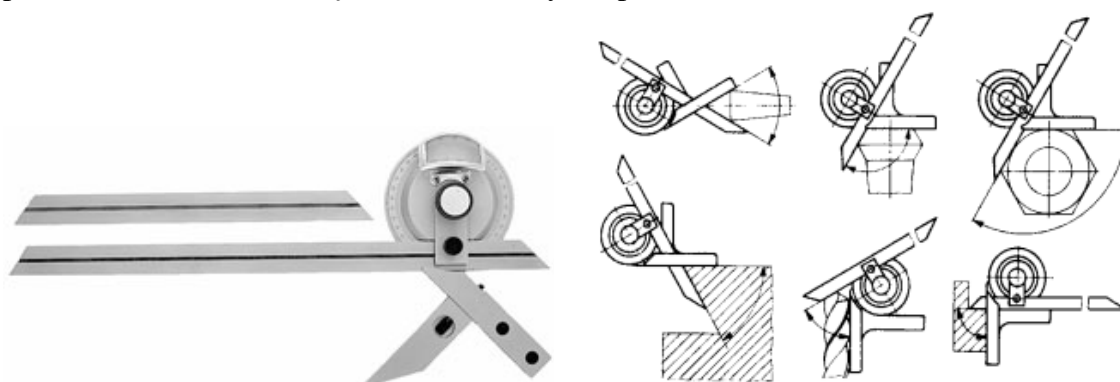
ukształtowanie krawędzi roboczych na: **krawędziowe, powierzchniowe i walcowe**. Dwie pierwsze odmiany stosowane są jako wzorce użytkowe. Mają one ustalone cztery klasy dokładności (00, 0, 1 i 2). Klasy dokładności zostały ustalone w zależności od dłuższego ramienia kątownika oraz przyporządkowanej odpowiedniej wartości liczbowych odchyłek tolerancji prostopadłości (T_v), równoległości (T_r), płaskości (T_p) i prostoliniowości (T_l) powierzchni i krawędzi pomiarowych. Ostatnia grupa kątowników wykorzystywana jest jako sprawdziany dla dwóch pozostałych.



Rysunek 2-6 Przykłady kątowników: a) krawędziowy, b) kombinowany, c) kąta 45°, d) rozwarty kąta 135°

- **Kątomierze**

Kątomierzem uniwersalnym pomiaru dokonuje się poprzez przyłożenie do powierzchni przedmiotu obu ramion kątomierza tak, aby nie powstała szczelina.

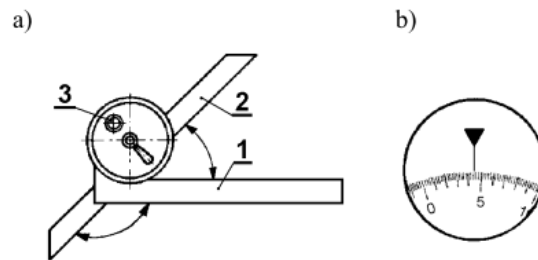


Rysunek 2-7 Kątomierz uniwersalny: przykłady zastosowania.

Jedno ramię kątomierza jest złączone trwale z głowicą w postaci okrągłej tarczy z podziałką noniusza kąтового. Wokół tej tarczy może być obracany o dowolny kąt pierścień z podziałką stopniową, do którego jest przymocowane drugie ramię kątomierza w postaci przesuwnej liniału. Pierścień można unieruchamiać w dowolnym położeniu względem tarczy, np. po przystawieniu obu ramion do powierzchni tworzących mierzony kąt. Zastosowanie noniusza umożliwi odczytywanie kąta z błędem odczytania 5'. Krawędzie każdego ramienia są do siebie równoległe w stopniu dostatecznym dla zagwarantowania jednakowej dokładności pomiaru przy wykorzystaniu krawędzi zewnętrznych albo wewnętrznych.

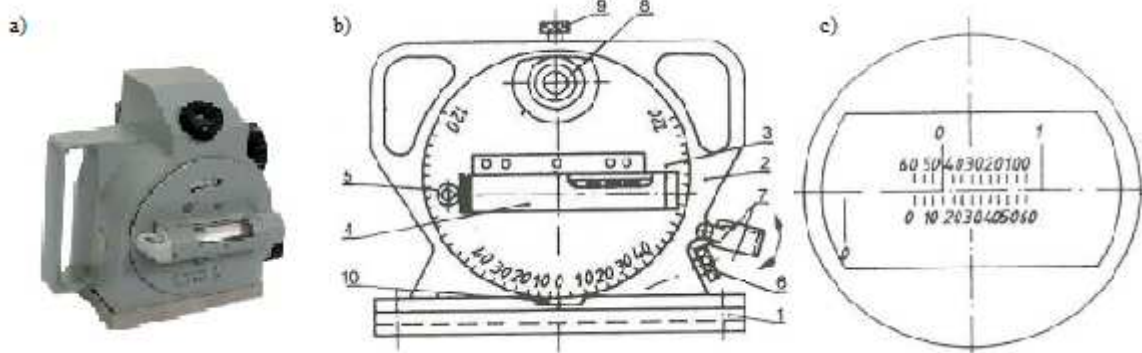
Kątomierz optyczny ma podobne przeznaczenie jak kątomierz uniwersalny i pokazany jest na rys. 2-8. Kątomierz posiada obudowaną płytkę szklaną z podziałką kreskową o zakresie 0-360°. Wskazania kątomierza optycznego odczytuje się przez wbudowaną w przyrząd lupkę 4, o powiększeniu x16. Wartość działki elementarnej kątomierza z

odczytem wskazań za pomocą wskazówki wynosi $10'$, zaś dla kątomierzy z noniusem o module $M = 0$ wynosi $5'$. Spotyka się noniuse o działce elementarnej $2'$.



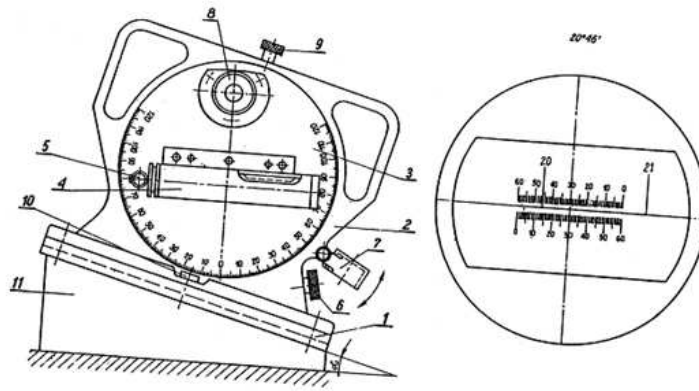
Rysunek 2-8 Kątomierz optyczny: a) widok ogólny; 1 – liniał pomiarowy stały, 2 – liniał pomiarowy ruchomy sprzężony z okularzem, 3 – okular, b) pole widzenia w okularze

Kątomierz poziomicowy z mikroskopem (kwadrant optyczny) (rys. 2-9) służy do dokładnych pomiarów kąta na powierzchniach płaskich i walcowych oraz do ustawiania maszyn, wałów itp. w położeniu poziomym. Kątomierz można ustawić na żądany kąt lub wykonać nim pomiary kątów. Podziałka główna ma działkę elementarną o wartości $1'$. Wartość działki elementarnej noniusza (o module $M=0$), obserwowanej przez mikroskop o powiększeniu $\times 40$, wynosi $1'$. Kąt odpowiadający zmianie nachylenia poziomicy wzdłużnej przy przesunięciu pęcherzyka cieczy o 2 mm - wynosi $30''$, natomiast dla poziomicy poprzecznej przy takim samym przesunięciu pęcherzyka wynosi $4'$. 2



Rysunek 2-9 Kątomierz poziomicowy z mikroskopem: a) widok ogólny rzeczywisty, b) schemat budowy: 1- podstawa, 2 - korpus, 3 - tarcza, 4 - poziomicca podłużna, 5 - poziomicca poprzeczna, 6 - śruba do nastawiania kąta, 7 - pokrywa, 8 - okular, 9 - śruba zaciskowa, 10 - płytka ze wskaźnikiem c) pole widzenia w okularze (odczyt na rysunku $0^{\circ}46'$)

Zakres pomiarowy tego kątomierza zawiera się w granicach $\pm 120^{\circ}$, zaś graniczny błąd (nie dokładność) pomiaru $\pm 40''$. W podstawie kątomierza wykonany jest rowek pryzmowy o kącie 120° , ułatwiający ustawianie na powierzchniach walcowych.

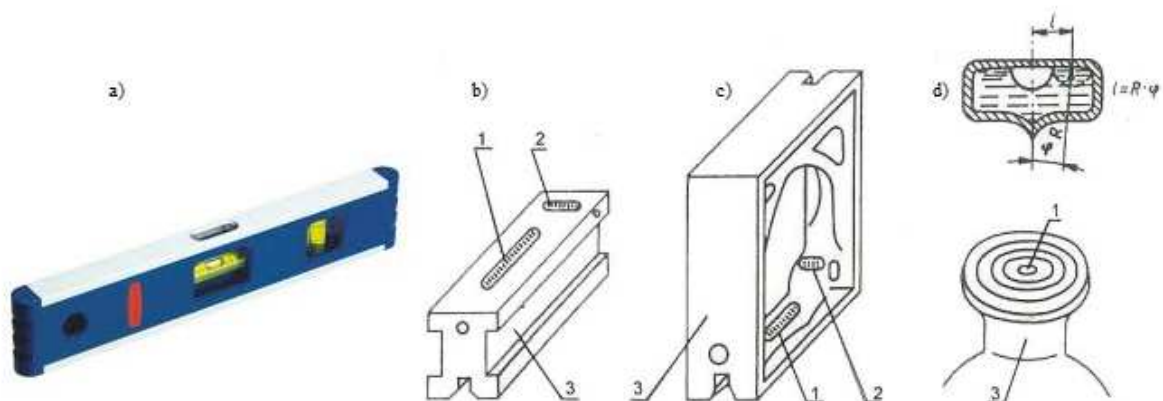


Rysunek 2-10 Technika pomiaru kwadrantem optycznym

Przedmiot mierzony należy umieścić na płycie mierniczej, a następnie ustawić zgrubnie wartość kąta według podziałki kątowej na tarczy obrotowej i przeciwwskazu umieszczonego przy podstawie. Na przedmiocie mierzony umieścić przyrząd tak, aby podstawa przylegała ściśle do powierzchni przedmiotu (rys. 2-10). Ustawić tarczę przyrządu śrubą dokładnego ustawiania 6 tak, aby pęcherzyk powietrza w ampułce zajmował dokładnie, położenie środkowe. Następnie należy sprawdzić czy przyrząd jest umieszczony prostopadle do podstawy patrząc na poziomnicę poprzeczną 5 i unieruchomić tarczę zaciskiem 9. Odczytu: dokonuje się patrząc w okular mikroskopu 8. Należy przy tym zwrócić uwagę, że z tyłu od strony okularu jest uchylne-zwierciadło płaskie, które należy odpowiednio ustawić w zależności od lokalnego oświetlenia, aby doprowadzić światło do urządzenia pomiarowego.

• Poziomnice

Poziomnice służą do bezpośrednich pomiarów małych kątów oraz do sprawdzania położenia poziomych czy pionowych powierzchni płaskich i walcowych. Poziomnice najczęściej używane są do sprawdzania właściwego wypoziomowania obrabiarek, maszyn, itp. urządzeń oraz płaskości powierzchni o dużych rozmiarach. Rozróżnia się poziomnice liniałowe (rys. 2-11.b), ramowe (rys. 2-11.c), którymi można sprawdzać również pionowe usytuowanie powierzchni oraz kuliste (rys. 2-11.d), które są najczęściej elementem wyposażenia dokładnych przyrządów pomiarowych.



Rysunek 2-11 Poziomnica: a) widok ogólny, b) liniałowa, c) ramowa, d) kulista; 1 – ampułka wskaźnikowa, 2 - ampułka wskaźnikowa pomocnicza, 3 - obudowa

Poziomnica składa się z obudowy i ampułki wskaźnikowej w postaci wygiętej rurki szklanej napełnionej alkoholem lub eterem etylowym tak, żeby pozostał w niej pęcherzyk gazu (powietrze i pary cieczy). Położenie pęcherzyka względem podziałki umieszczonej na

ampułce wskazuje czy powierzchnia, na której spoczywa poziomnica jest pozioma, czy też nachylona pod pewnym kątem. Odchylenie od poziomu odczytywane jest na podziałce w mm/m (jako tangens kąta pochylenia). Czułość poziomnicy zależy od promienia krzywizny ampułki. Na przykład przy długości działki elementarnej $L = 1$ mm i promieniu krzywizny $R \approx 104$ m można uzyskać wartość działki elementarnej kątowej odpowiadającej $2''$. Norma PN-76/M-53375 zawiera charakterystykę metrologiczną poziomnic krajowych.

- **Inne przyrządy do bezpośredniego pomiaru kątów**

Optyczny stół podziałowy przeznaczony jest zarówno do pomiarów kątowych, jak i do wykonania dokładnego podziału kątowego przedmiotów obrabianych na wiertarkach, frezarkach, wytaczarkach itp., jeśli podział odbywa się dookoła osi pionowej. Budowa stołu optycznego jest zbliżona do budowy optycznej głowicy podziałowej.

Goniometr (nazywany też refleksyjnym) jest przyrządem laboratoryjnym, stosowanym do dokładnych pomiarów kątów między dwiema płaszczyznami polerowanymi lub docieranymi (np. do pomiaru pryzmatów, płytek kątowych itp.). Graniczny błąd pomiaru kąta zawiera się w granicach $\pm 1''$.



Rysunek 2-12 Zestaw goniometrów

Przyrząd autokolimacyjny znajduje zastosowanie w dokładnych pomiarach kątów w przemyśle maszyn ciężkich, np. służy do mierzenia podziałek kątowych dużych kół zębatych, tarcz podziałowych itp. Ponadto przyrząd wykorzystywany jest do sprawdzania prostoliniowości, płaskości i współosiowości. Przyrząd ma zakres pomiarowy $0-360^\circ$ oraz wartość działki elementarnej urządzenia odczytowego równą $1''$.

Teodolit umożliwia pomiar kątów w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Stosowany jest w budowie maszyn ciężkich do pomiarów podziałek kątowych, odkształceń, poziomowania itp. Wartość działki elementarnej równa jest $1''$.

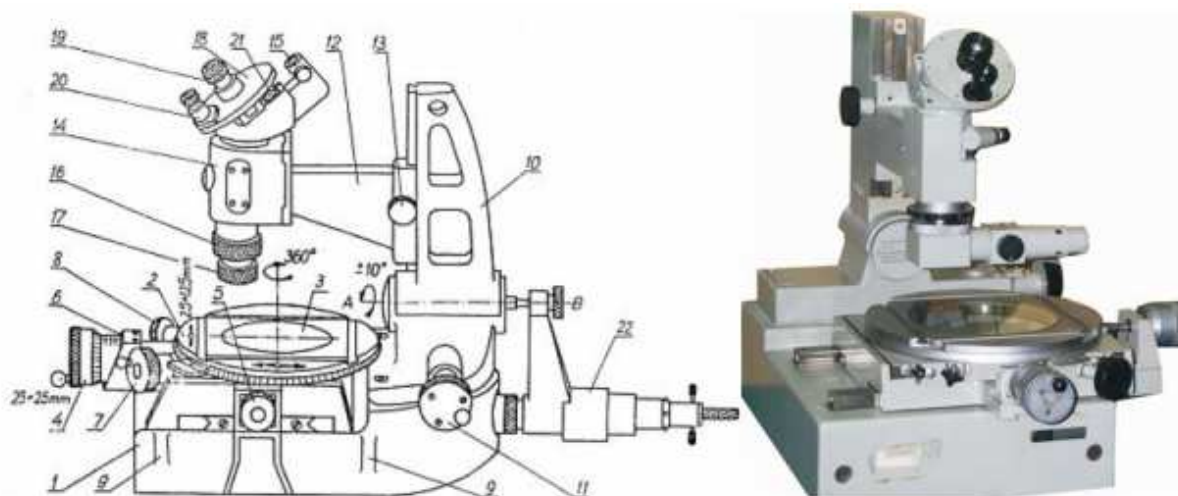


Rysunek 2-13 Teodolit optyczny i laserowy

Mikroskop warsztatowy wyposażony jest w głowicę goniometryczną (okular goniometryczny), która umożliwia bezpośrednie pomiary kątów na stosunkowo małych płaskich przedmiotach w zakresie $0-360^\circ$. W celu dokonania pomiaru kąta należy jedną z

linii przerywanych siatki okularu obserwacyjnego pokryć z jedną krawędzią kąta mierzonego i dokonać odczytu 1α na podziałce kątowej w okularze goniometrycznym. Następnie należy tak obrócić układ linii przerywanych (układ kres), aby ta sama linia pokryła się z drugą krawędzią kąta mierzonego i dokonać odczytu kąta 2α . Mierzony kąt

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1, \text{ jeśli } \alpha_2 > \alpha_1$$

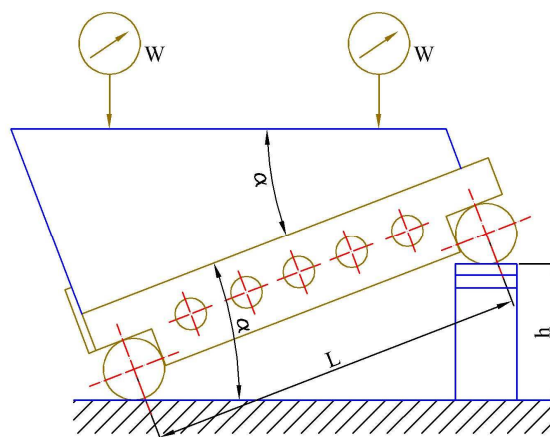


Rysunek 2-14 Duży mikroskop MWD: 1 - podstawa, 2 - obrotowy stół pomiarowy, 3 - szybka, 4 - bęben odczytowy głowicy mikrometrycznej przesuwu poprzecznego, 5 - bęben odczytowy głowicy mikrometrycznej przesuwu wzdłużnego, 6 - płytki oporowa, 7,8 - obrót stołu, 9 - ucha do drążków ułatwiających przenoszenie mikroskopu, 10 - kolumna, 11 - ręczne koło do pochylania kolumny, 12 - przesuwne ramię, 13 - śruba zaciskowa, 14 - tubus, 15 - otwór do mocowania urządzenia projekcyjnego, 16 - pierścień radełkowy, 17 - obiektyw, 18 - głowice okularowe, 19 - okular obserwacyjny, 20 - okular odczytowy do pomiaru kątów, 21 - oświetlacz.

2.4 Pośrednie metody pomiarów kątów i stożków

• Pomiar kąta stożka za pomocą liniału sinusowego (sinuśnica)

Liniał sinusowy (rys.2.3) składa się z liniału opartego na dwóch wałkach jednakowej średnicy, których osie są równoległe do siebie i leżą w płaszczyźnie równoległej do górnej płaszczyzny liniału. W celu pomiaru kąta stożka α dobiera się wysokość stosu płytek wzorcowych H tak, aby górna tworząca stożka była możliwie równoległa do płaszczyzny płyty pomiarowej.



Rysunek 2-15 Pomiar kąta stożka na liniale sinusowym

Błąd równoległości określa się przy pomocy czujnika (najczęściej zegarowego) i traktuje jako poprawkę. Błąd ten ze względu na dokładność pomiaru nie powinien przekraczać 0,5 (różnica wskazań czujnika na dwóch końcach stożka nie powinna być większa niż 0,1 mm na każde 10 mm długości tworzącej). Dążenie do wyeliminowania poprawki przez idealne ustawienie wysokości stosu płytek jest niecelowe i nie zalecane ze względu na dużą czasochłonność.

Wartość kąta stożka, mierzoną na liniale sinusowym, określa wzór:

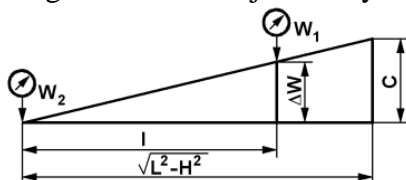
$$\alpha = \arcsin \frac{h+c}{L} \quad \text{gdzie:}$$

h – wysokość stosu płytek wzorcowych,

c - poprawka wysokości stosu płytek

L - odległość między osiami wałków liniału sinusowego (dla liniału stosowanego w ćwiczenie $l = 100$ mm),

Wyznaczenie poprawki c wymaga uwzględnienia różnicy wskazań czujnika Δw na znanej odległości l . Można ją obliczyć w następujący sposób:



$$c = \frac{\Delta w}{l} \sqrt{L^2 - h^2} \quad \text{gdzie:}$$

Δw – różnica odległości tworzącej stożka od płyty pomiarowej, mierzona czujnikiem w dwóch skrajnych punktach stożka ($l = w_2 - w_1$)

l – odległość między skrajnymi położeniami czujnika, w których uzyskano wskazania W_1 i W_2 .

Znak „+” we wzorze występuje, gdy wysokość punktu tworzącej stożka na jego mniejszej średnicy nad płytą pomiarową jest większa od wysokości punktu tworzącej stożka, leżącego na jego dużej średnicy.

Błąd pomiaru kąta stożka, wyznaczony metodą różniczki zupełnej, wynosi:

$$u = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial h}\right)^2 \cdot u_h^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial L}\right)^2 \cdot u_L^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial c}\right)^2 \cdot u_c^2}$$

który po przekształceniu przyjmuj postać:

$$u = \pm \frac{1}{L^2 - (h+c)^2} \sqrt{u_h^2 + \left(\frac{h+c}{L}\right)^2 \cdot u_L^2 + u_c^2} \quad \text{gdzie:}$$

u - niepewność pomiaru,

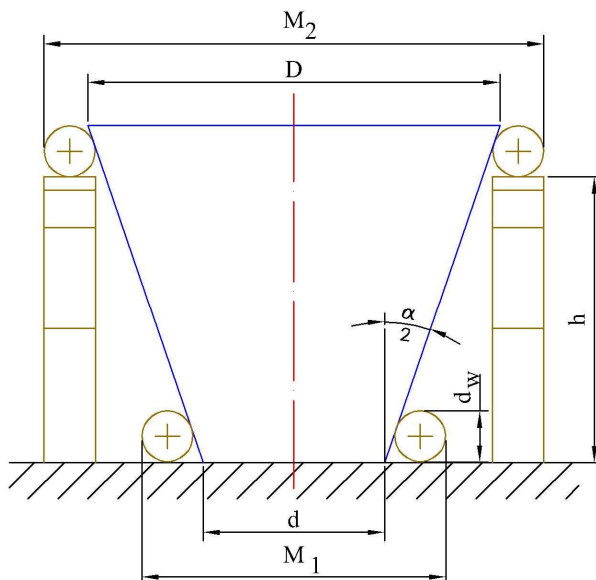
u_h – niepewność standardowa stosu płytek wzorcowych,

u_L – niepewność standardowa od długości L liniału sinusowego;

u_c – niepewność standardowa określenia poprawki c wysokości płytek wzorcowych.

• **Pomiar kąta stożka za pomocą wałeczków**

Pomiar dokonywany parą jednakowych wałeczków pomiarowych, płytkami wzorcowymi oraz mikrometrem dotyczy pomiaru stożka zewnętrznego. Sposób pomiaru kąta stożka α za pomocą wałeczków ilustruje rysunek 2.4.



Rysunek 2-16 Pomiar kąta stożka za pomocą wałeczków

Stożek ustawia się mniejszą podstawą na płycie pomiarowej, a dwa wałeczki pomiarowe, dokładnie tej samej średnicy d_w , kładzie się na płycie i styka ze stożkiem. Po zmierzeniu mikrometrem wymiaru M_1 zestawia się dwa jednakowe stosy płytek wzorcowych o wysokości h , ustawia się na nich te same wałeczki i mierzy mikrometrem wymiar M_2 .

Do pomiaru można stosować wałeczki o dowolnej średnicy – ze względu na wygodę pomiaru – należy dobierać wałeczki o większych średnicach (np. wałeczki o $d_w = 4,0$ mm). Wysokość stosów płytek h jest również dowolna, jednak z uwagi na dokładność pomiaru, powinna być ona możliwie największa.

Kąt stożka α określa wzór:

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \frac{M_2 - M_1}{2h}$$

Niepewność standardową u_α kąta stożka można obliczyć wg wzoru :

$$u_\alpha = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial (M_2 - M_1)} \cdot u_{(M_2 - M_1)} \right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial (d_w - d_w)} \cdot u_{(d_w - d_w)} \right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial h} \cdot u_h \right)^2}$$

który po przekształceniu przyjmuje postać:

$$u_\alpha = \pm \frac{1}{h} \cos \frac{\alpha}{2} \sqrt{\left(\cos \frac{\alpha}{2} \cdot u_{(M_2 - M_1)} \right)^2 + \left(\left(\cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right) \cdot u_{(d_w - d_w)} \right)^2 + \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot u_h \right)^2}$$

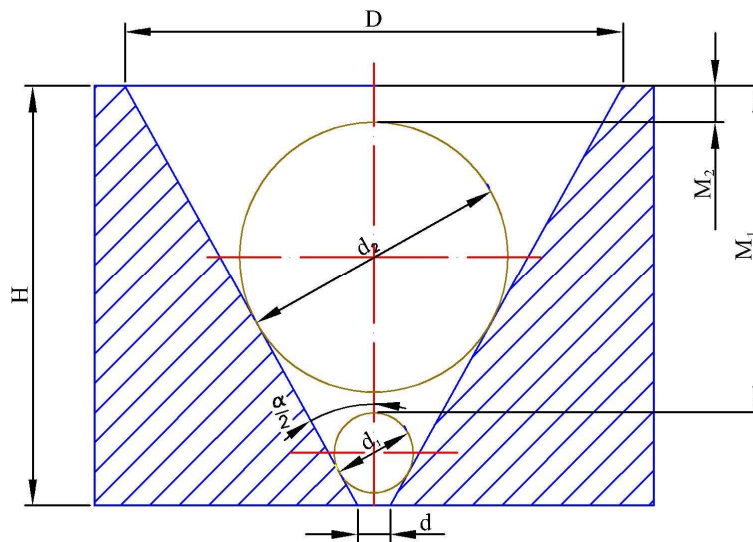
gdzie:

u_α - niepewność pomiaru kąta α ,

$u_{(M_2-M_1)}$ – niepewność standardowa pochodząca od pomiaru mikrometrem średnic zewnętrznych stożka z wałeczkami pomiarowymi;
 $u_{(d_2-d_1)}$ – niepewność standardowa wałeczków pomiarowych,
 u_h – niepewność standardowa stosu płytek wzorcowych,

• **Pomiar stożka wewnętrznego przy pomocy kul pomiarowych**

Pomiaru stożka wewnętrznego dokonuje się za pośrednictwem dwóch kulek pomiarowych o różnych średnicach oraz głębokościomierza mikrometrycznego (rys.2.5). z zachowaniem następującej kolejności czynności: do otworu stożkowego włożyć mniejszą kulkę, zmierzyć wymiar M_1 , następnie wyjąć tę kulkę (nie dopuszczając do zakleszczenia się kulki), a do otworu włożyć kulkę większą o takiej średnicy, aby jej wierzchołek nie wystawał ponad krawędź otworu; za pomocą głębokościomierza mikrometrycznego zmierzyć wymiar M_2 .



Rysunek 2-17 Pomiar kąta stożka wewnętrznego przy pomocy kul pomiarowych

Kąt pochylenia tworzącej stożka oblicza się wg wzoru:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2(M_1 - M_2) - (d_2 - d_1)}$$

Niepewność standardową pomiaru u_α oblicza się ze wzoru:

$$u_\alpha = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial (M_1 - M_2)} \cdot u_{(M_1 - M_2)} \right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial (d_2 - d_1)} \cdot u_{(d_2 - d_1)} \right)^2}$$

który po przekształceniu przyjmuje postać:

$$u_{\alpha} = \pm \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{d_2 - d_1} \sqrt{\left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot u_{(M1-M2)}\right)^2 + \left(\left(1 + \sin \frac{\alpha}{2}\right) \cdot u_{(d2-d1)}\right)^2}$$

gdzie:

u_{α} - niepewność pomiaru kąta α ,

$u_{(M2-M1)}$ – niepewność standardowa pochodząca od pomiaru głębokościomierzem

$u_{(d2-d1)}$ - niepewność standardowa od kul pomiarowych,

3. Pytania kontrolne

1. Co jest miarą kąta, jak ją definiujemy i jakie są rodzaje kątów?
2. Wzorce kątów i stożków.
3. Opisz pomiary bezpośrednie kątów i narzędzia do nich stosowane.
4. Tolerowanie kątów i klasy dokładności.
5. Zbieżność stożka.
6. Metody oraz narzędzia do pomiarów pośrednich kątów i stożków.

4. Przebieg ćwiczenia

Podczas ćwiczenia należy wykonać:

1. Pomiar kąta klina kątomierzem poziomicowym.
2. Pomiar kąta klina liniałem sinusowym.
3. Pomiar stożka wewnętrznego przy pomocy głębokościomierza oraz kulek pomiarowych.
4. Pomiar stożka zewnętrznego przy pomocy wałeczków pomiarowych.
5. Określić niepewność pomiarów.
6. Przeprowadzić dyskusję na temat otrzymanych wyników.

5. Sprawozdanie

Sprawozdanie oprócz ogólnych wymagań wg [3] powinno zawierać:

- schemat stanowisk pomiarowych wraz z opisaniem wszystkich wielkości,
- arkusz zawierający wyniki pomiarów,
- obliczenia niepewności poszczególnych pomiarów,
- rozważania na temat otrzymanych wyników.

Literatura

- [1] Humienny Z., Osanna P.H., Tamre M., Weckenmann A., Jakubiec W.: *Specyfikacje geometrii wyrobów. Podręcznik europejski*, Warszawa, WNT 2004.
- [2] Jakubiec W., Malinowski J.: *Metrologia wielkości geometrycznych*, WNT, Warszawa 2004.
- [3] Majda P.: *Laboratorium metrologii ITM ZUT, Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych, Temat: Ogólna instrukcja sporządzania sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych*, Szczecin 2010.
- [4] Majda P., *Laboratorium metrologii ITM ZUT, Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych*, Temat ćwiczenia – Wyznaczanie niepewności pomiaru, Szczecin 2010.

- [5] Paczyński P.: *Metrologia techniczna*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań
- [6] PN-EN ISO 1101, 2006; *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS), Tolerancje geometryczne, Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia.*
- [7] PN-77/M-02136 Układ tolerancji kątów.