

JÓZEF ZAWADA

**Materiały pomocnicze do wykładów
przedmiotu:**

METROLOGIA WIELKOŚCI GEOMETRYCZNYCH

Łódź, 2013 r.

METROLOGIA – DEFINICJA

„Metrologia jest to nauka o zabezpieczeniu środkami technicznymi i organizacyjnymi poprawności pomiarów we wszystkich dziedzinach nauki, techniki i gospodarki”

[Aleksander Tomaszewski „Podstawy nowoczesnej metrologii”]

„Metrologia to dziedzina nauki i techniki zajmująca się pomiarami i wszystkimi czynnościami niezbędnymi do wykonywania pomiarów”

[Mała encyklopedia metrologii, WNT, Warszawa 1989]

Metrologia: nauka o pomiarach

[Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii]

METROLOGIA - PODZIAŁ

Metrologia obejmuje bardzo szerokie spektrum różnych zagadnień. Grupując odpowiednio poszczególne zagadnienia możemy podzielić ją na mniejsze obszary. Zazwyczaj metrologię dzieli się na metrologię ogólną, metrologię prawną oraz dość liczną grupę metrologii stosowanych.

METROLOGIA OGÓLNA

Metrologia ogólna (zwana często podstawami metrologii) jest to dział metrologii zajmujący się zagadnieniami wspólnymi dla wszystkich rodzajów wielkości mierzonych, niezależnymi od natury tych wielkości. Obejmuje ona m.in.. takie zagadnienia jak:

- teoria wielkości;
- jednostki miar;
- skale pomiarowe;
- błędy pomiarów;
- metody i algorytmy pomiarów;
- ogólna teoria pomiaru czy
- ogólna teoria narzędzi i systemów pomiarowych.

METROLOGIA PRAWNA

„Metrologia prawna to dział metrologii zajmujący się:

- określaniem wymagań dla jednostek miar, narzędzi i metod pomiarowych (zwłaszcza w przypadkach, gdy wyniki pomiarów mogą mieć znaczenie dla ochrony zdrowia, życia czy środowiska lub ochrony praw konsumentów)**
- organizacją systemu zapewniającego sprawdzanie spełniania tych wymagań;**
- zatwierdzaniem typów narzędzi pomiarowych wprowadzanych do obrotu;**
- uznawaniem wyników kontroli (przeprowadzonych w jednym kraju przez inne kraje);**

METROLOGIA STOSOWANA (MIERNICTWO)

Metrologia stosowana (miernictwo) jest to dział metrologii dotyczący pomiarów określonej wielkości fizycznej, grupy wielkości pokrewnych lub grupy wielkości występujących w określonej dziedzinie działalności człowieka. Przykłady:

- ☐ metrologia długości, metrologia czasu (chronometria) czy metrologia temperatury (termometria);
- ☐ metrologia elektryczna, metrologia akustyczna czy fotometria;
- ☐ metrologia (miernictwo) przemysłowe, metrologia biomedyczna czy metrologia astronomiczna

METROLOGIA WIELKOŚCI GEOMETRYCZNYCH

Metrologia wielkości geometrycznych należy do metrologii stosowanych zajmujących się pomiarami grupy wielkości pokrewnych, konkretnie grupy wielkości używanych do opisu kształtów elementów materialnych.

Do opisu kształtów elementów materialnych używa się najczęściej następujących wielkości:

- długość (wymiary liniowe);
- kąt (wymiary kątowe);
- odchyłki kształtu i położenia;
- chropowatość i falistość powierzchni

Ranga i znaczenie metrologii wielkości geometrycznych (MWG)

❑ postać geometryczna produktów jest często jednym z najważniejszych warunków zapewnienia ich odpowiedniej wartości użytkowej w związku z czym odpowiedni poziom pomiarów wielkości geometrycznych jest często warunkiem uzyskania odpowiedniej jakości produktów;

❑ wielkości będące przedmiotem zainteresowania MWG (zwłaszcza długość) występują w bardzo wielu dziedzinach działalności człowieka. Z tego powodu metrologia wielkości geometrycznych ma charakter uniwersalny (znajduje stosunkowo szeroki zakres zastosowań);

DŁUGOŚĆ

Długością nazywamy wzajemną odległość dwóch elementów geometrycznych, przy czym termin "element geometryczny" oznaczać może:

- punkt;
- linię;
- płaszczyznę;
- profil lub
- powierzchnię mierzonego przedmiotu.

Do określania wartości długości używa się pojęcia wymiar liniowy.

wymiar liniowy $\Leftrightarrow$ jedno- lub wielo-elementowy zbiór wartości długości.

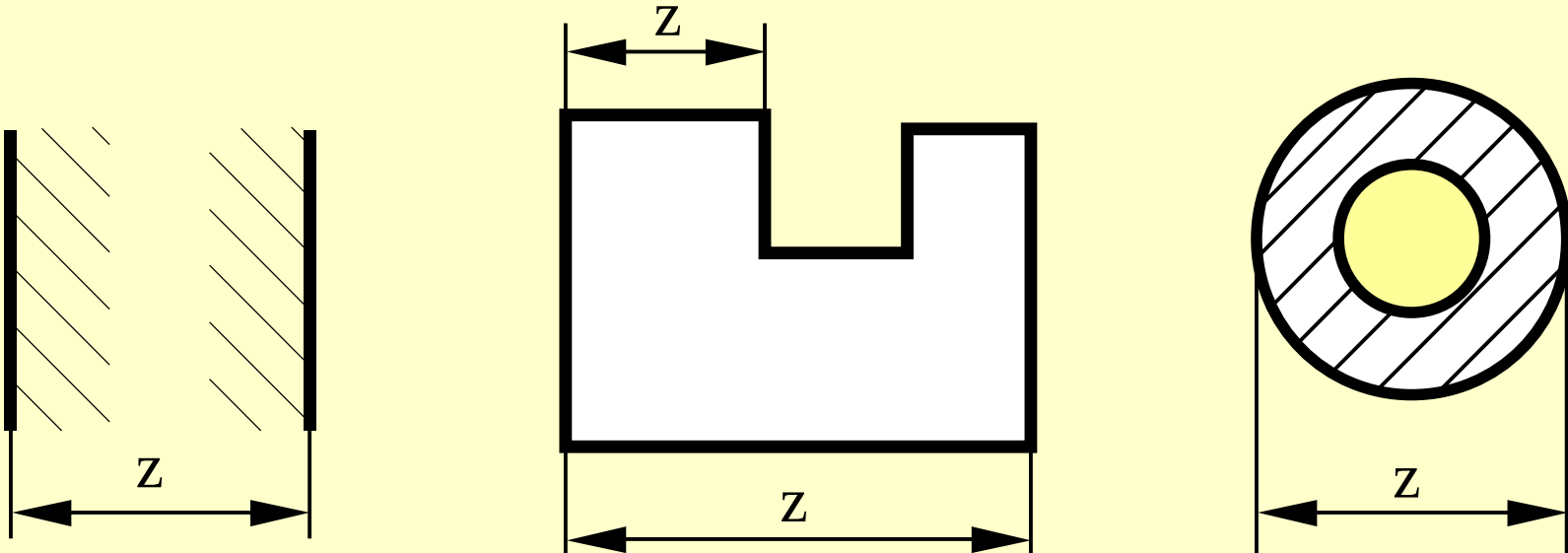
KLASYFIKACJA WYMIARÓW

W praktyce mamy do czynienia z wieloma różnymi wymiarami. I tak np.:

- ❑ w zależności od wzajemnego usytuowania wymiaru i określających go elementów geometrycznych wymiary dzieli się na zewnętrzne, wewnętrzne, mieszane i pośrednie;**
- ❑ w zależności od „nośnika” wymiaru (detal, dokumentacja) wymiary dzieli się na rzeczywiste i wymagane;**
- ❑ w zależności od sposobu zapisu w dokumentacji wymiary dzieli się na wymiary posiadające indywidualne tolerancje i wymiary tolerowane ogólnie, itp...**

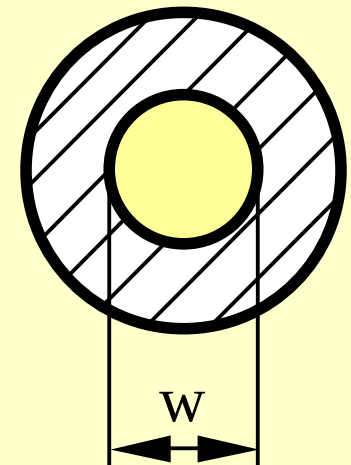
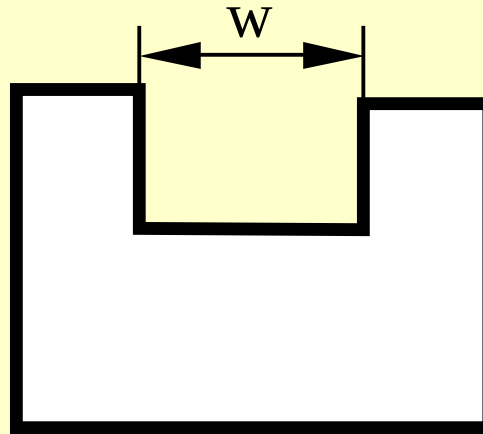
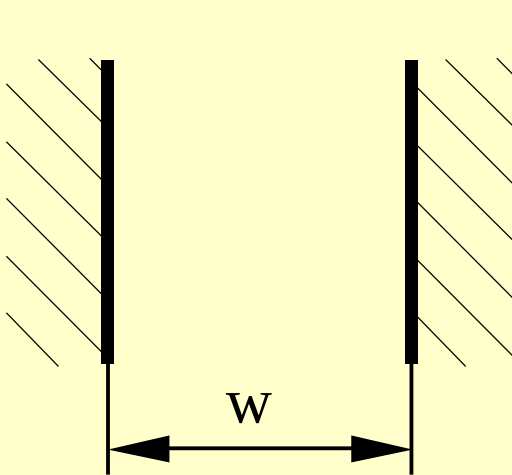
WYMIAR ZEWNĘTRZNY

Wymiarem zewnętrznym nazywamy odległość elementów powierzchni, między którymi bezpośrednio ich otoczenie wypełnione jest materiałem (wymiar obejmuje materiał).



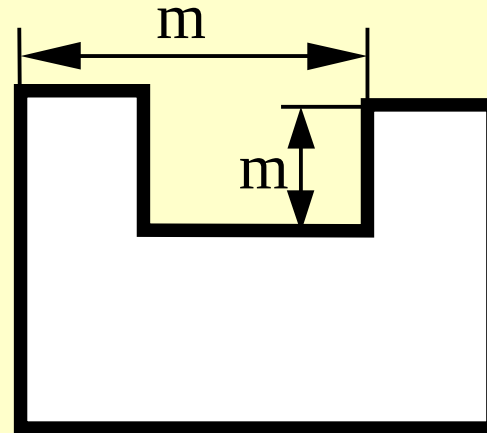
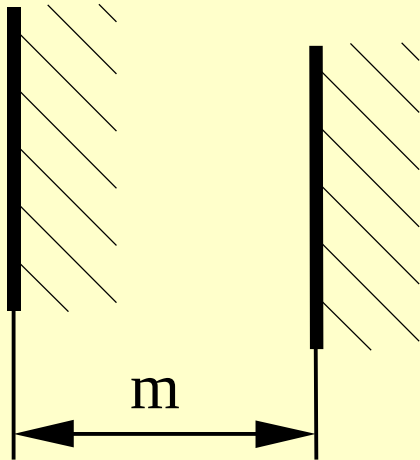
WYMIAR WEWNĘTRZNY

Wymiarem wewnętrznym nazywamy odległość elementów powierzchni, nazewnątrz których bezpośrednio ich otoczenie wypełnione jest materiałem (materiał obejmuje wymiar)



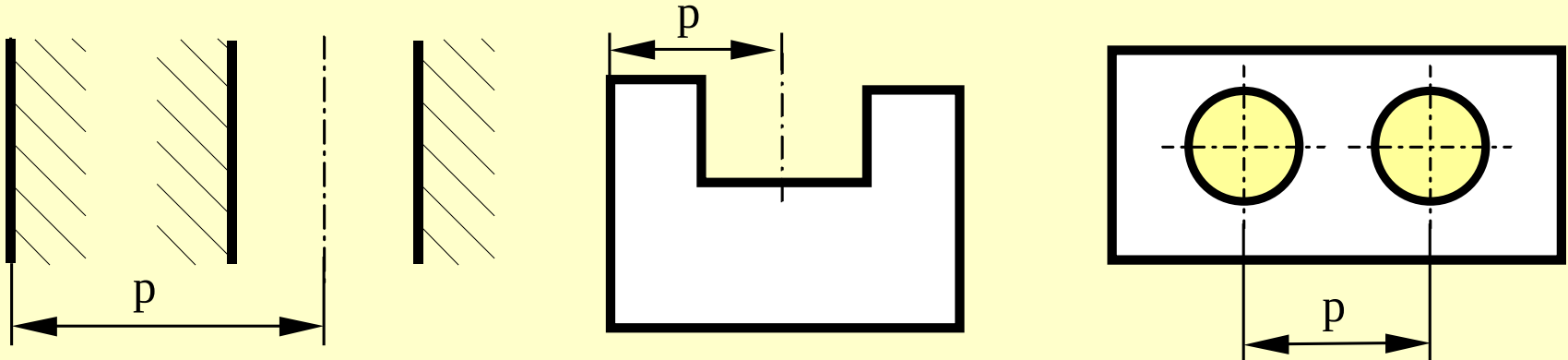
WYMIAR MIESZANY

Wymiarem mieszanym nazywamy odległość elementów powierzchni, między którymi bezpośrednio otoczenie jednego z nich wypełnione jest materiałem, a bezpośrednio otoczenie drugiego wypełnione jest materiałem na zewnątrz.



WYMIAR POŚREDNI

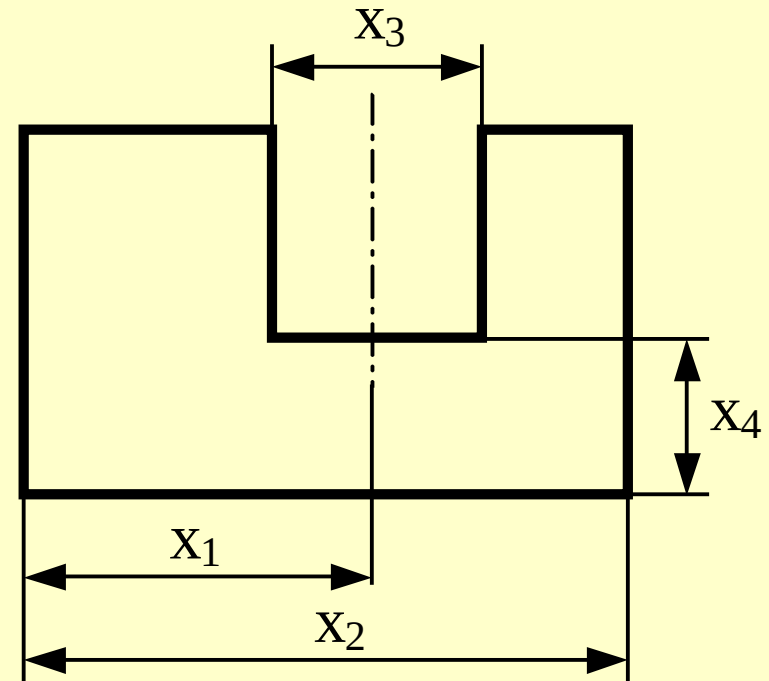
Wymiarem pośrednim nazywamy odległość elementów, z których co najmniej jeden jest elementem teoretycznym (oś lub płaszczyzna symetrii).



PRZYKŁADOWE PYTANIE TESTOWE

22. Na rysunku obok pokazano cztery wybrane wymiary liniowe. Jakiego rodzaju są te wymiary?

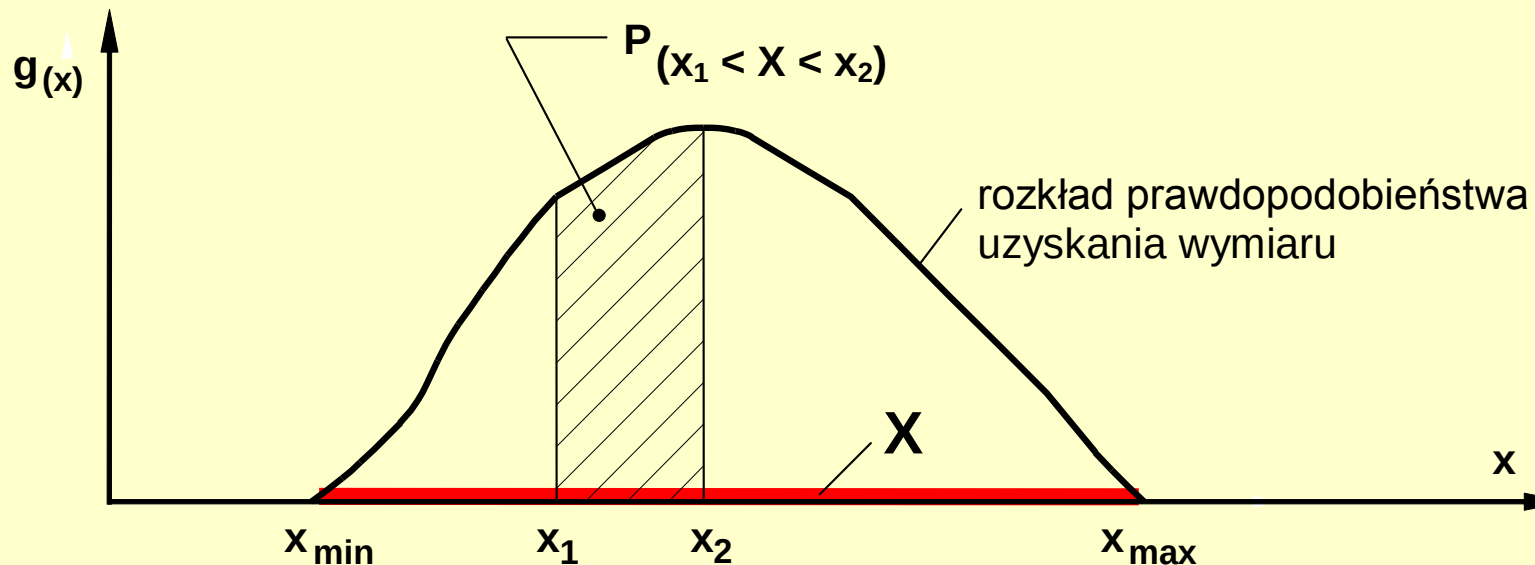
- a) x_1 – wewnętrzny, x_2 – zewnętrzny,
 x_3 – wewnętrzny, x_4 – mieszany;
- b) x_1 – wewnętrzny, x_2 – zewnętrzny,
 x_3 – zewnętrzny, x_4 – wewnętrzny;
- c) x_1 – mieszany, x_2 – wewnętrzny,
 x_3 – zewnętrzny, x_4 – mieszany;
- d) x_1 – mieszany, x_2 – zewnętrzny,
 x_3 – wewnętrzny, x_4 – zewnętrzny;
- e) x_1 – pośredni, x_2 – zewnętrzny,
 x_3 – wewnętrzny, x_4 – mieszany;
- f) x_1 – pośredni, x_2 – zewnętrzny,
 x_3 – wewnętrzny, x_4 – zewnętrzny;



WYMIAR RZECZYWISTY

Wymiarem rzeczywistym nazywamy wymiar, który jest realnie istniejącym lub teoretycznie możliwym wynikiem procesu technologicznego.

Wymiar rzeczywisty można traktować jako zmienną losową, tzn. jako zbiór wartości, z których każda ma określone prawdopodobieństwo powstania.



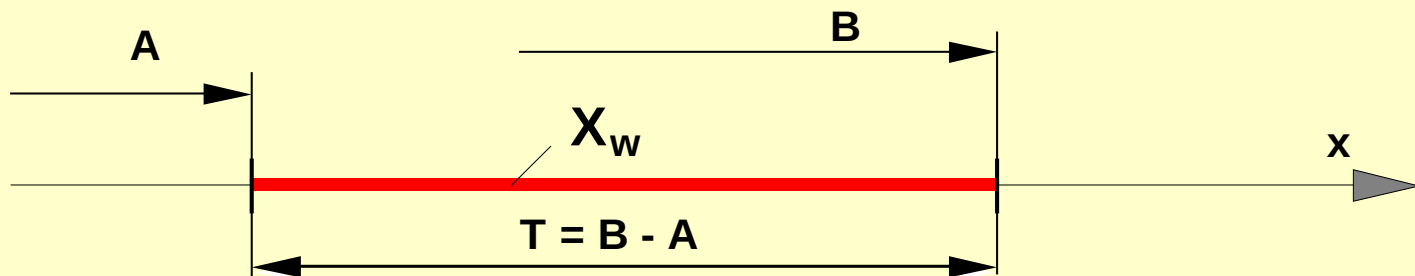
WYMIAR WYMAGANY (1/3)

Produkcja seryjna wraz z dość powszechnie stosowaną zasadą zamienności części wymagają, aby wymiary rzeczywiste poszczególnych egzemplarzy wyrobu różniły się od siebie możliwie mało. Dlatego dla każdego wymiaru rzeczywistego określony zostaje pewien zbiór wartości dopuszczalnych i tylko wyroby, których wymiary mieszczą się w tym zbiorze są uważane za wykonane poprawnie

Zbiór wartości dopuszczalnych dla wymiaru rzeczywistego X nazywać będziemy wymiarem wymaganym i oznaczać symbolem X_w .

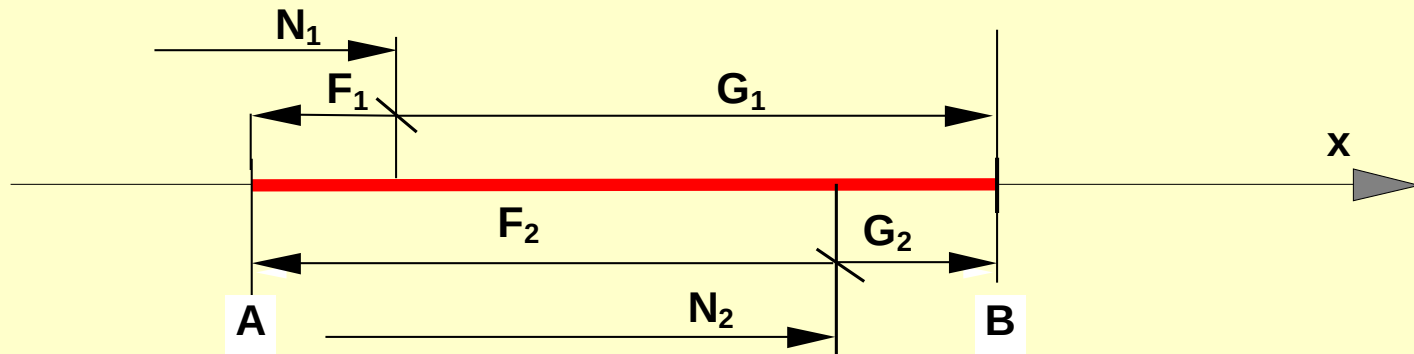
WYMIAR WYMAGANY (2/3)

- ❑ Wymiar wymagany jest zbiorem wartości określonym wartościami granicznymi - dolną A i górną B .
- ❑ Różnica wartości $B - A = T$ nosi nazwę tolerancji wymiaru wymaganego.
- ❑ Na osi liczbowej wymiar wymagany przyjmuje postać odcinka AB . Długość tego odcinka odpowiada wartości tolerancji.



WYMIAR WYMAGANY (3/3)

Zamiast wartości granicznych A i B do określenia wymiaru wymaganego używa się częściej trzech parametrów: wartości nominalnej N, odchyłki dolnej F i odchyłki górnej G.



$$N_1 + F_1 = N_2 + F_2 = \dots = N_i + F_i = A \quad \text{oraz}$$

$$N_1 + G_1 = N_2 + G_2 = \dots = N_i + G_i = B$$

$$T = B - A = (N + G) - (N + F) = G - F$$

PRZYKŁADOWE PYTANIE TESTOWE

Która z podanych niżej par wymiarów stanowi różny zapis tego samego wymiaru wymaganego (tego samego zbioru wartości dopuszczalnych)?

a) $24_{-0,24}^{-0,20}$ i $23,78_{-0,02}^{+0,02}$

b) $24_{-0,24}^{-0,20}$ i $23,78_{-0,12}^{+0,12}$

c) $24_{-0,24}^{-0,20}$ i $23,9_{-0,34}^{-0,30}$

d) $24_{-0,24}^{-0,20}$ i $24_{0,20}^{0,24}$

e) $24_{-0,24}^{-0,20}$ i $23,78_{-0,22}^{+0,22}$

f) $24_{-0,24}^{-0,20}$ i $23,8_{-0,44}^0$

Wymiary wymagane zostały znormalizowane. Normalizacji poddano zarówno tolerancje wymiarów wymaganych jak i ich odchyłki graniczne. Szczegółowe informacje na ten temat zawierają normy:

- **PN – EN 20286-1:96 „Układ tolerancji i pasowań ISO. Podstawy tolerancji, odchyłek i pasowań”**
- **PN–EN 20286-2:96 „Układ tolerancji i pasowań ISO. Tablice klas tolerancji normalnych oraz odchyłek granicznych wałków i otworów ”**
- **PN – ISO 1829: 1996 „Wybór pól tolerancji ogólnego przeznaczenia”**

SPOSOBY ZAPISU WYMIARÓW WYMAGANYCH

Ze względu na sposób zapisu wymiary wymagane można podzielić na:

- **wymiary posiadające indywidualne tolerancje i**
- **wymiary nie posiadające indywidualnych tolerancji (wymiary tolerowane ogólnie);**

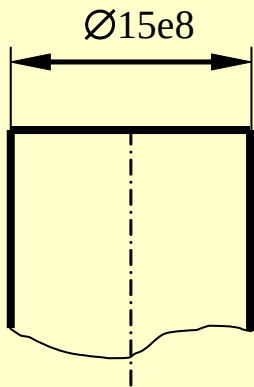
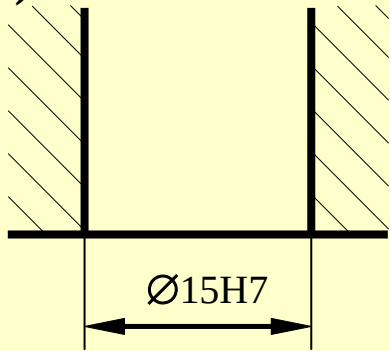
SPOSOBY ZAPISU WYMIARÓW WYMAGANYCH

W grupie wymiarów posiadających indywidualne tolerancje wyróżnia się:

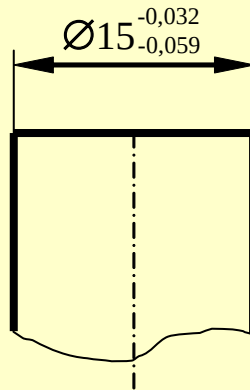
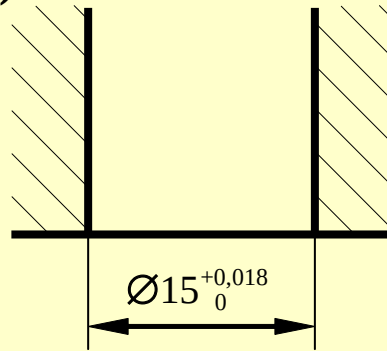
- **wymiary tolerowane normalnie (czyli zgodnie z w/w normami), przy czym istnieją trzy odmiany tego tolerowania:**
 - **tolerowanie symbolowe**
 - **tolerowanie liczbowe i**
 - **tolerowanie mieszane**
- **wymiary tolerowane swobodnie**

SPOSOBY ZAPISU WYMIARÓW WYMAGANYCH

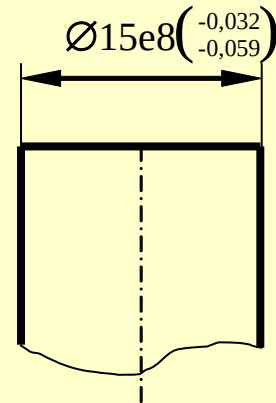
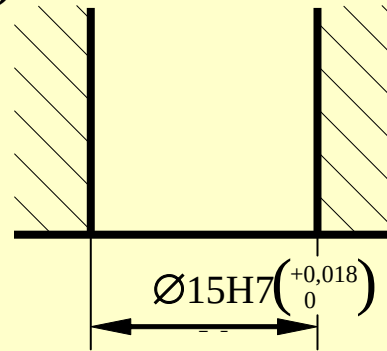
a)



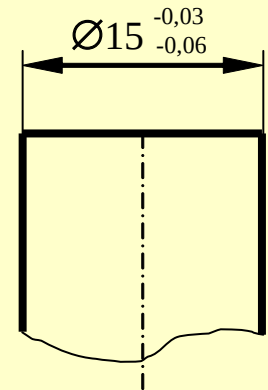
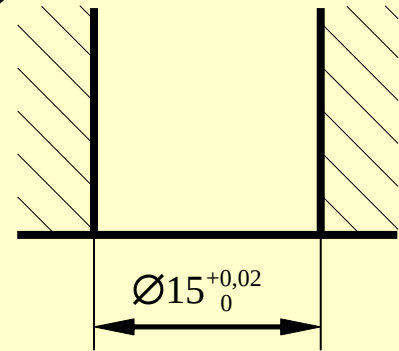
b)



c)



d)



TOLERANCJE OGÓLNE

- ❑ W przypadku wymiarów nie posiadających indywidualnych tolerancji na rysunku podaje się tylko ich wartości nominalne.
- ❑ Wymiary i odchyłki geometryczne nie posiadające tolerancji indywidualnych (zaznaczonych na rysunku) obowiązują tzw. tolerancje ogólne.
- ❑ Wartości tolerancji ogólnych odpowiadają tzw. dokładności warsztatowej, tj. dokładności charakterystycznej dla danego zakładu i wynikającej z rodzaju i stanu wykorzystywanych w tym zakładzie obrabiarek, stosowanej technologii, oprzyrządowaniu, narzędziom, itp.

TOLERANCJE OGÓLNE - NORMY

Tolerancje ogólne zostały znormalizowane, a zasady ich stosowania określają normy:

PN-EN 22 768-1:1999 „Tolerancje ogólne. Tolerancje wymiarów liniowych i kątowych bez indywidualnych oznaczeń tolerancji”;

PN-EN 22 768-2:1999 „Tolerancje ogólne. Tolerancje geometryczne elementów bez indywidualnych oznaczeń tolerancji”;

TOLERANCJE OGÓLNE – KLASY

Zgodnie z normą PN EN 22 768-1:99 wymiary liniowe nie posiadające indywidualnych tolerancji mogą być wykonywane w czterech klasach:

- dokładnej – oznaczenie f (od angielskiego *fine*);
- średniodokładnej – oznaczenie m (od angielskiego *medium*);
- zgrubnej – oznaczenie c (od angielskiego *coarse*);
- bardzo zgrubnej – oznaczenie v (od angielskiego *very coarse*);

Wartości tolerancji odpowiadających poszczególnym klasom dokładności

Klasa tolerancji	Przedział wymiarów liniowych, mm					
	od 0,5 do 3	ponad 3 do 6	ponad 6 do 30	ponad 30 do 120	ponad 120 do 400	ponad 400 do 1000
f	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
m	0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	1,6
c	0,4	0,6	1,0	1,6	2,4	4
v	-	1,0	2,0	3	5	8

TOLERANCJE OGÓLNE – POŁOŻENIE

Ogólną zasadą jest, że tolerancje ogólne rozmieszczone są symetrycznie względem wymiaru nominalnego (przykładowo dla tolerancji $T = 0,4 \text{ mm}$ odchyłki graniczne będą wynosić odpowiednio $-0,2 \text{ mm}$ i $+0,2 \text{ mm}$).

Jeżeli chcemy od powyższej zasady odstąpić na rysunku należy zamieścić stosowną uwagę (np.: tolerancje ogólne: wymiary wewnętrzne tolerować zgodnie z zasadą „w głąb materiału”).

TOLERANCJE OGÓLNE GEOMETRYCZNE

Tolerancje ogólne geometryczne dotyczą wszystkich rodzajów odchyłek za wyjątkiem odchyłki walcowości, odchyłki kształtu zarysu lub powierzchni, odchyłki nachylenia, odchyłki współosiowości, odchyłki pozycji i bicia całkowitego

Zgodnie z normą PN EN 22 768-2:99 odchyłki geometryczne nie posiadające indywidualnych tolerancji mogą być wykonywane w trzech klasach:

- **dokładnej – oznaczenie H;**
- **średniodokładnej – oznaczenie K;**
- **zgrubnej – oznaczenie L;**

TOLERANCJE OGÓLNE PROSTOLINIOWOŚCI I PŁASKOŚCI

Klasa tolerancji ↓	Wartość odniesienia: dla prostoliniowości – długość linii, dla płaskości – długość dłuższego boku lub średnica okręgu [mm]				
	do 10	pow. 10 do 30	pow. 30 do 100	pow. 100 do 300	pow. 300 do 1000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6

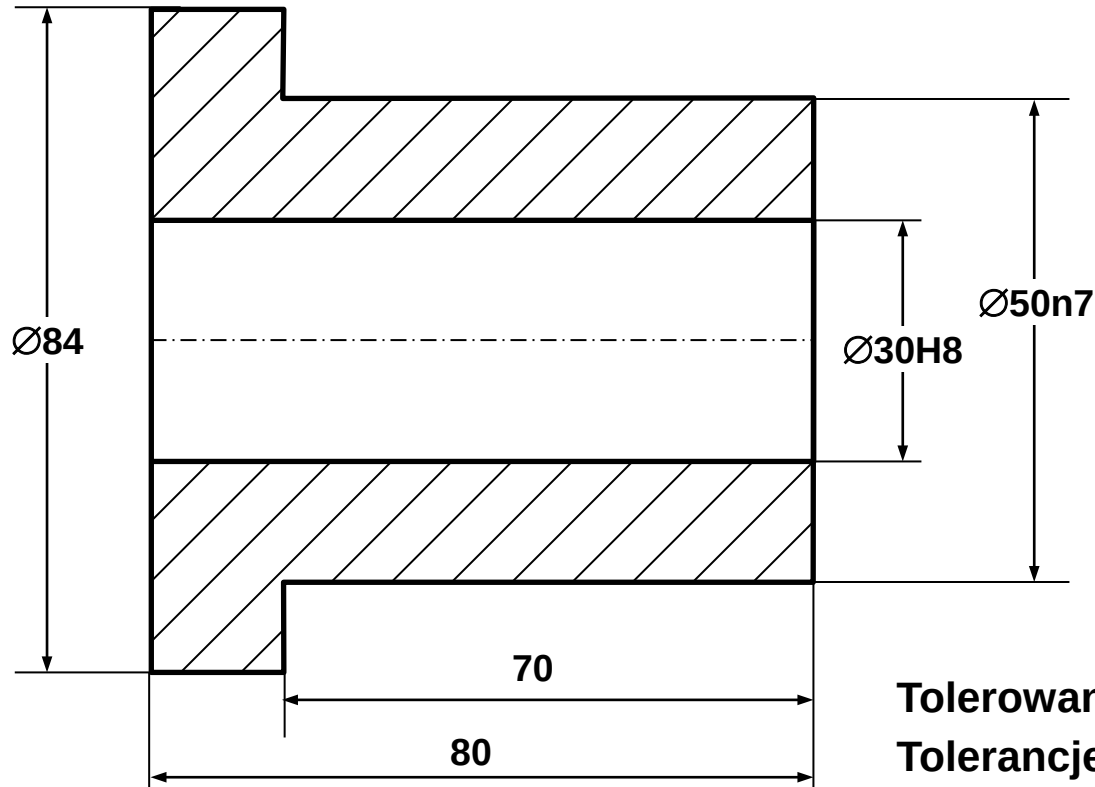
TOLERANCJE OGÓLNE BICIA

Klasa tolerancji	Tolerancje ogólne bicia promieniowego i osiowego [mm]
H	0,1
K	0,2
L	0,5

TOLERANCJE OGÓLNE PROSTOPADŁOŚCI

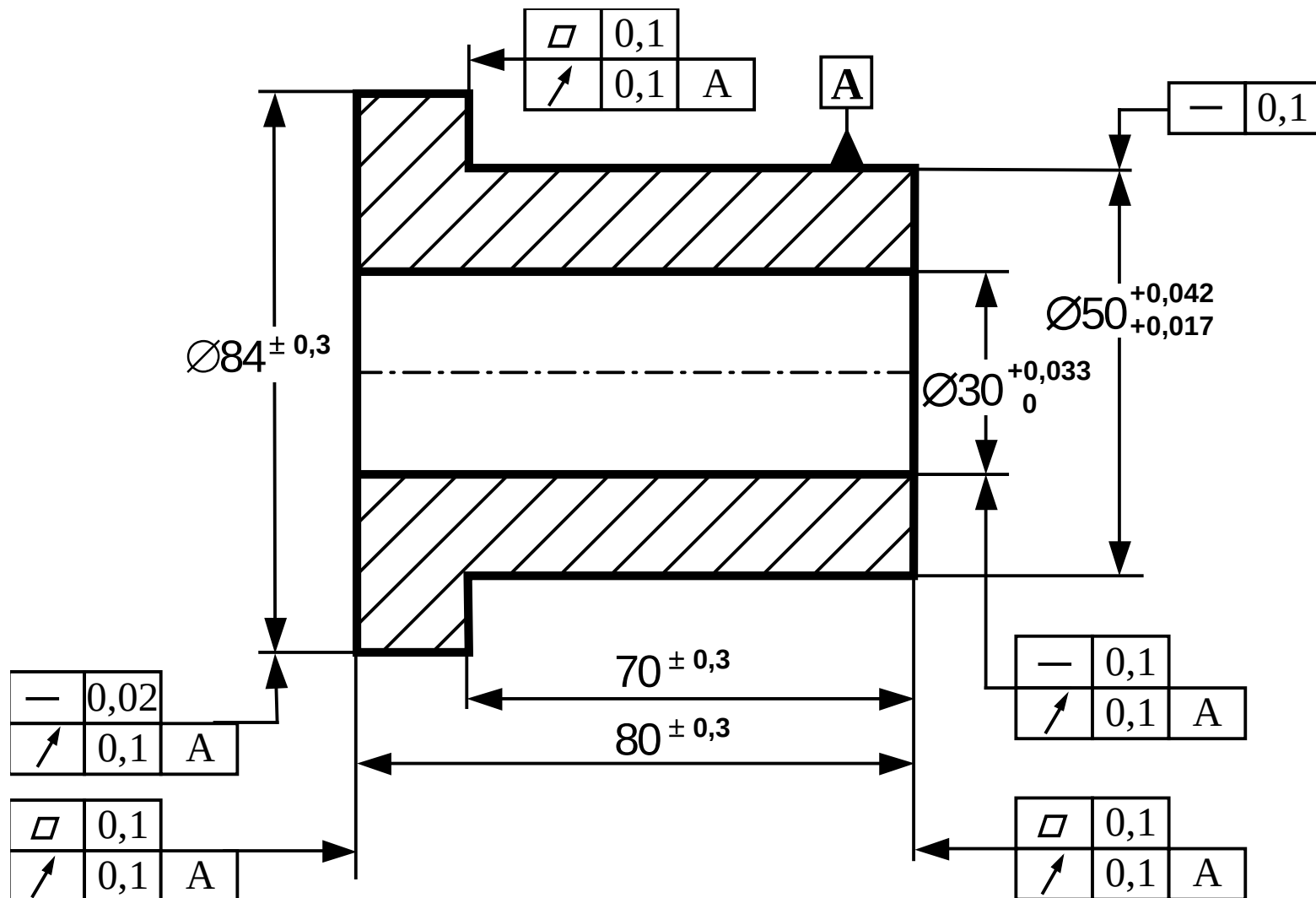
Klasa tolerancji	Wartość odniesienia: długość nominalna krótszego ramienia kąta prostego [mm]			
	do 100	pow. 100 do 300	pow. 300 do 1000	pow. 1000 do 3000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

PRZYKŁAD WYMIAROWANIA



Tolerowanie wg PN-88/M-01142
Tolerancje ogólne zgodnie
z PN-EN 22 768 mH

INTERPRETACJA WYMIAROWANIA



SPRZĘT POMIAROWY - KLASYFIKACJA

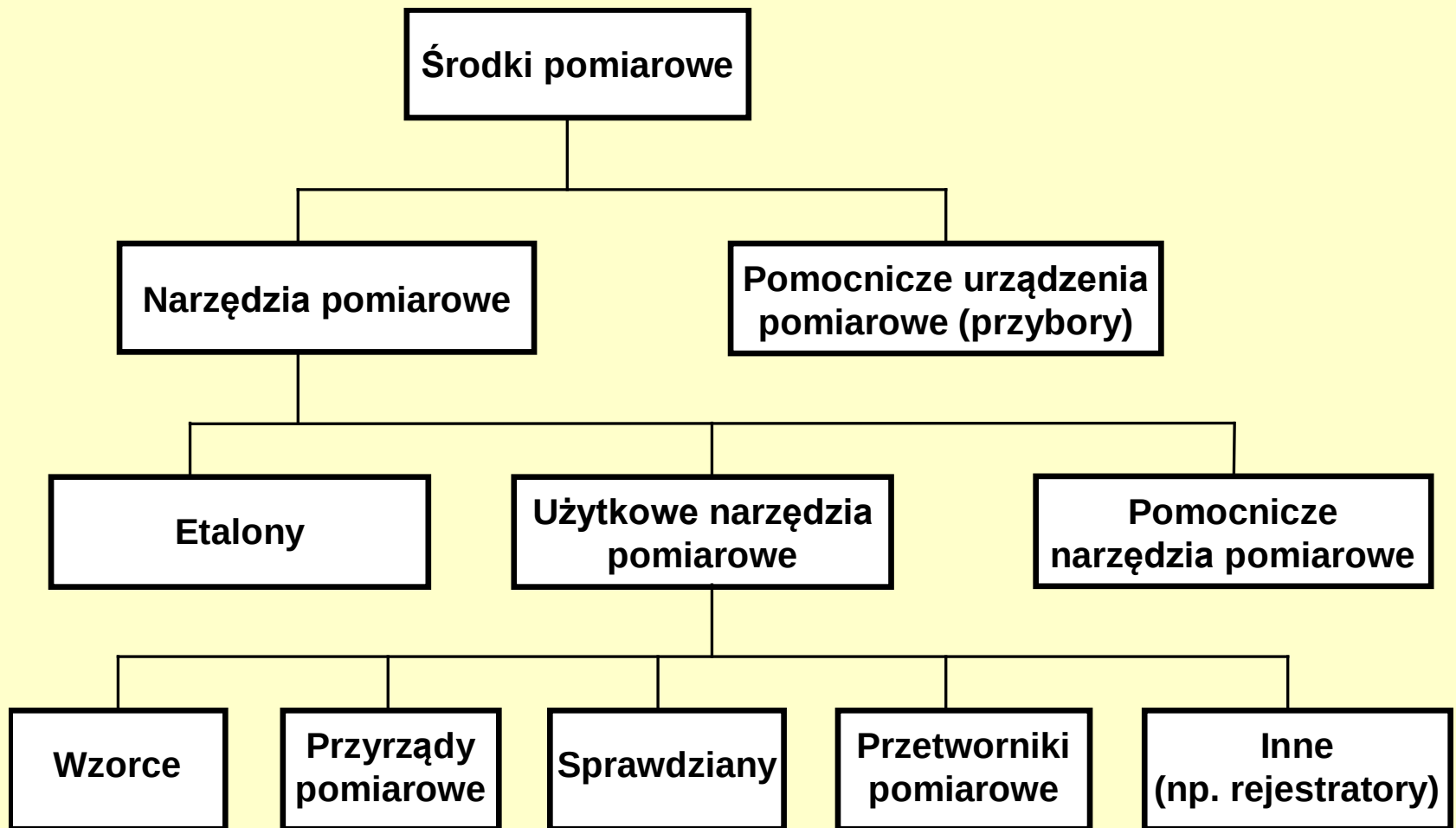
Przy pomiarach wykorzystywane są różne urządzenia techniczne. Określa się je ogólną nazwą:

SPRZĘT POMIAROWY.

Jako synonimy pojęcia „sprzęt pomiarowy” służą również określenia środki pomiarowe lub wyposażenie pomiarowe.

Poszczególne urządzenia pełnią w procesie pomiaru różne funkcje. Funkcje te stanowią najczęściej przyjmowane kryterium klasyfikacji sprzętu pomiarowego

SPRZĘT POMIAROWY – KLASYFIKACJA



SPRZĘT POMIAROWY – KLASYFIKACJA

W zależności od pełnionych funkcji sprzęt pomiarowy dzieli się na:

- narzędzia pomiarowe i
- pomocnicze urządzenia pomiarowe

Narzędzia pomiarowe pełnią w procesie pomiaru rolę podstawową, tzn. służą do określania wartości wielkości mierzonej.

Pomocnicze urządzenia pomiarowe (przybory pomiarowe) pełnią w procesie pomiaru rolę pomocniczą (np. zapewniają właściwe warunki pomiaru, ustalają odpowiednie położenie mierzonego przedmiotu, chronią aparaturę pomiarową przed wstrząsami, itp.). Przykłady pomocniczych urządzeń pomiarowych: stoły pomiarowe, uchwyty, pryzmy, statywy, klimatyzatory, urządzenia zasilające, itp.

NARZĘDZIA POMIAROWE – PODZIAŁ

Narzędzia pomiarowe dzieli się zazwyczaj na:

- **etalony;**
- **narzędzia pomiarowe użytkowe i**
- **narzędzia pomiarowe pomocnicze.**

ETALONY

Etalony to narzędzia pomiarowe służące do przechowywania i odtwarzania jednostki miary wielkości fizycznej lub krotności tej jednostki (wartości odniesienia) w celu przekazywania jej poprzez porównanie innym narzędziom pomiarowym.

Etalonów używa się wyłącznie do sprawdzania i wzorcowania innych narzędzi pomiarowych.

NARZĘDZIA POMIAROWE POMOCNICZE

Narzędzia pomiarowe pomocnicze służą do pomiaru

- wielkości wpływowych (tzn. innych wielkości, które mogą mieć istotny wpływ na wynik pomiaru) lub
- wielkości, od których zależą własności metrologiczne narzędzi pomiarowych użytkowych.

Przykłady narzędzi pomiarowych pomocniczych:

- termometr, higrometr i barometr zastosowane w celu określenia warunków otoczenia, w jakim przeprowadzano pomiary;
- poziomnicę użytą w celu wypoziomowania wagi

NARZĘDZIA POMIAROWE UŻYTKOWE

Narzędzia pomiarowe użytkowe przeznaczone są do wykonywania pomiarów różnych wielkości określonych. W ich skład wchodzi głównie:

- wzorce miar;
- przyrządy pomiarowe;
- sprawdziany;
- przetworniki pomiarowe;
- i inne (np. rejestratory);

WZORCE

Wzorcem miary nazywa się narzędzie pomiarowe odtwarzające jedną lub więcej znanych wartości danej wielkości.

Metrologia wielkości geometrycznych zajmuje się wzorcami długości, kąta, prostoliniowości, płaskości i chropowatości powierzchni oraz wzorcami zarysów.

WZORCE DŁUGOŚCI

Wzorce długości są to ciała lub zjawiska fizyczne odtwarzające w sposób praktycznie niezmienny jedną lub kilka miar długości.

Ze względu na sposób odtwarzania miary wzorce długości można podzielić na:

- **końcowe;**
- **kreskowe;**
- **falowe.**

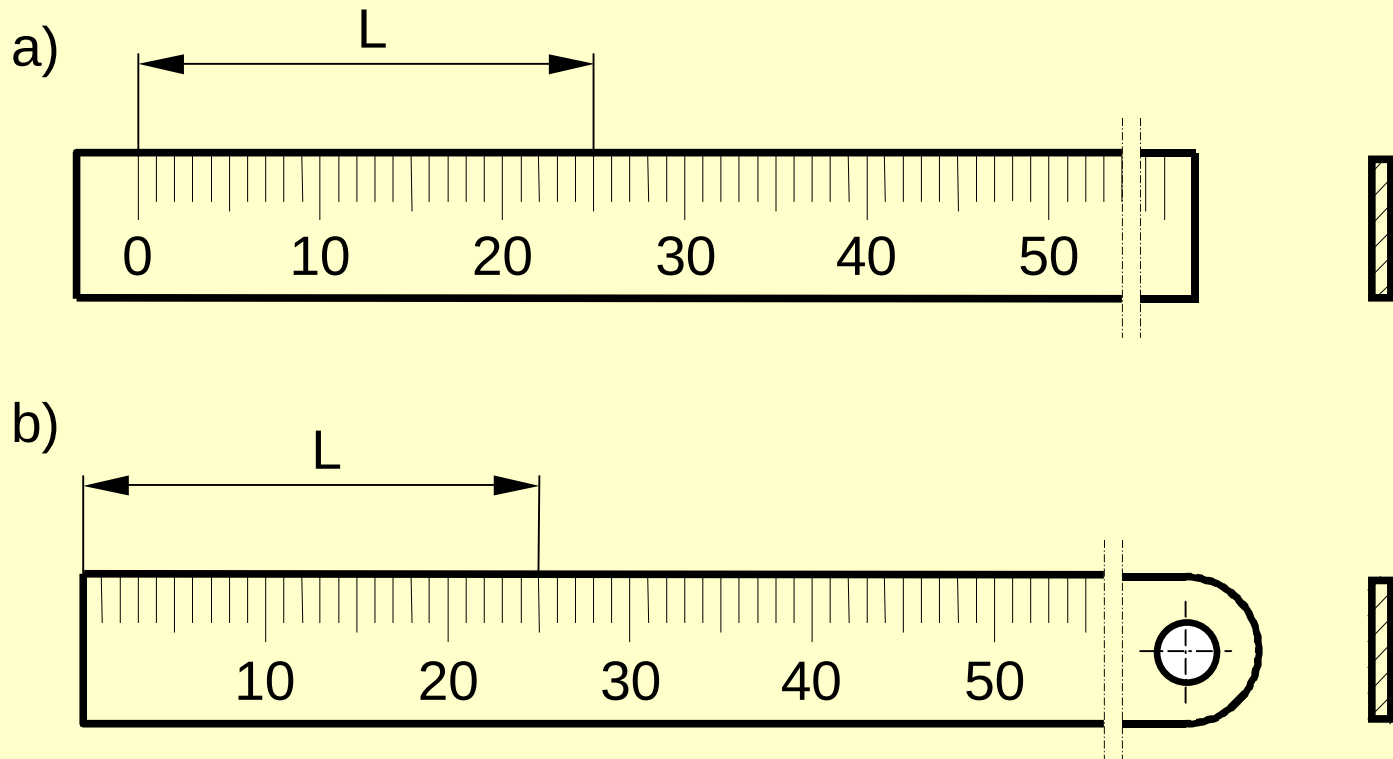
WZORCE KOŃCOWE

Wzorce końcowe są wzorcami jednomiarowymi. Mają postać brył materialnych, które żadaną wartość długości odtwarzają odległością dwóch równoległych płaszczyzn, dwóch tworzących, względnie odległością dwóch punktów. Wyróżnia się wśród nich:

- płytki wzorcowe;**
- szczelinomierze;**
- wałeczki pomiarowe;**
- kulki pomiarowe;**
- wzorce nastawcze;**

WZORCE KRESKOWE

Odtwarzają wartości długości wzajemnymi odległościami kres naniesionych na płaskiej powierzchni wzorca lub też odległościami kres od krawędzi wzorca.



WZORCE KRESKOWE

Wzorce kreskowe są prawie zawsze wzorcami wielomiarowymi, tzn. odtwarzają więcej niż jedną wartość długości.

Do wzorców kreskowych należą:

- różnego rodzaju przymiary (sztywne, półsztywne, wstępowe, składane);
- wzorce stanowiące integralne części przyrządów pomiarowych bądź też elementy wyposażenia tych przyrządów.

PRZYMIARY KRESKOWE ZWIJANE



Taśma miernicza stalowa o szerokości 19 mm wciągana automatycznie w głąb obudowy. Po wysunięciu taśmy można ją w wybranym położeniu zablokować

PRZYMIARY KRESKOWE ZWIJANE



Przymiary kreskowe zwijane o większych zakresach pomiarowych (10 m – 30 m), tzw. ruletki. Taśma mierznicza zbrojona włóknem szklanym

WZORCE FALOWE

Odtwarzają wartości długości poprzez pewne wielokrotności długości fal promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez pewne pierwiastki w określonych warunkach. Najczęściej wykorzystywane jest promieniowanie takich pierwiastków jak krypton 86, rtęć 198, kadm 114 oraz promieniowanie laserów typu He-Ne. Do odtwarzania wartości długości tą metodą służą specjalne przyrządy zwane interferometrami.

WZORCE DŁUGOŚCI – PORÓWNANIE

♦ Dokładność odtwarzania:

1) wzorce falowe	$\delta_u L \approx 2 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-9}$
2) wzorce końcowe	$\delta_u L \approx 8 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-6}$
3) wzorce kreskowe	$\delta_u L \approx 2 \cdot 10^{-4} \div 6 \cdot 10^{-6}$

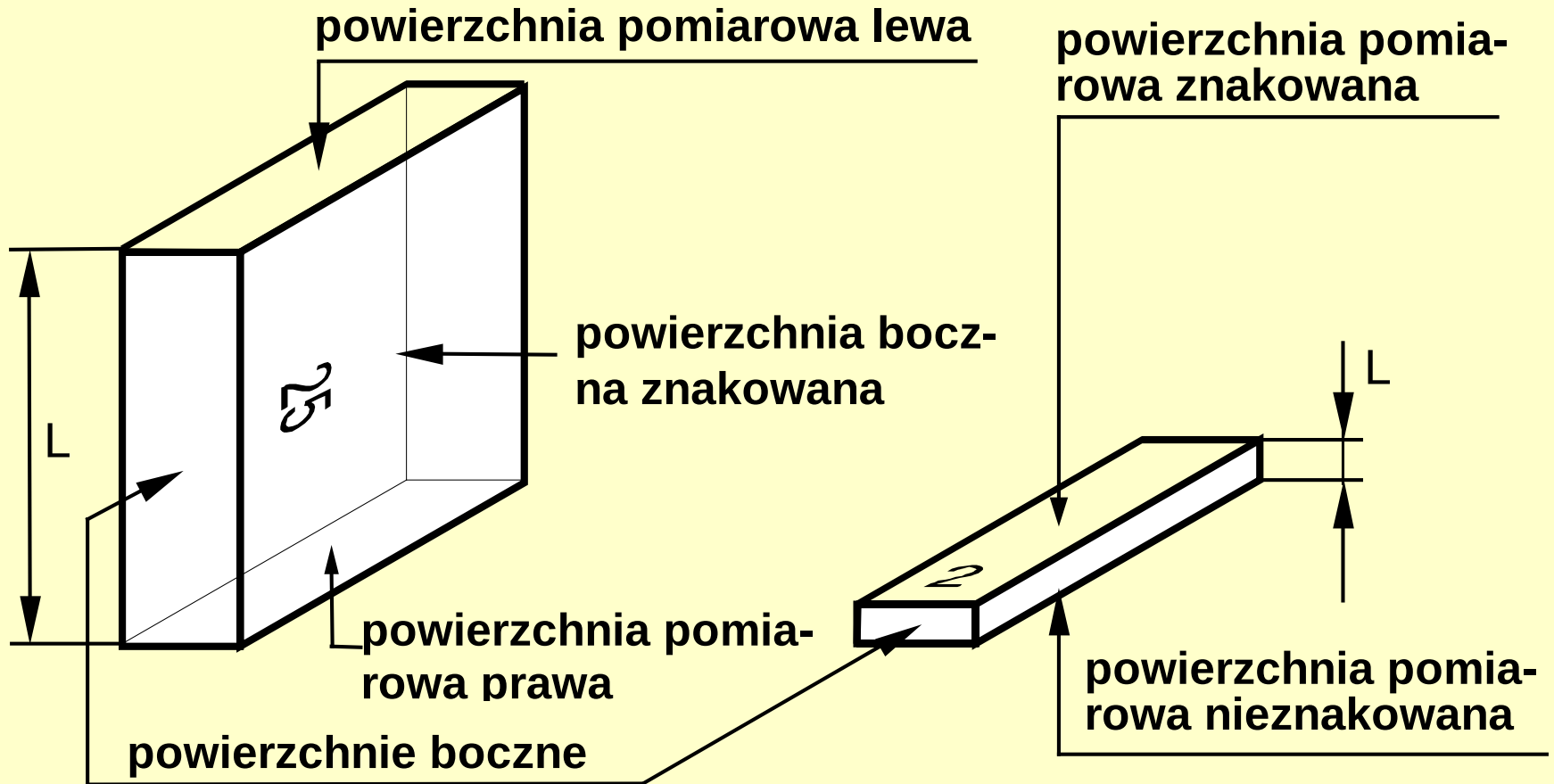
♦ Łatwość posługiwania się:

1) wzorce kreskowe	najłatwiej
2) wzorce końcowe	↓
3) wzorce falowe	najtrudniej

PŁYTKI WZORCOWE

- ♦ **wprowadzone w 1896 r w szwedzkiej firmie C. E. Johansson;**
- ♦ **przełom w dziedzinie dokładnych pomiarów długości (nadal odgrywają wiodącą rolę wśród wzorców długości);**
- ♦ **zalety;**
 - **duża dokładność odtwarzania;**
 - **możliwość bezpośredniego porównania z wzorcami falowymi;**
 - **łatwość posługiwania się;**
 - **stosunkowo niski koszt zakupu i eksploatacji;**

PŁYTKI WZORCOWE



PŁYTKI WZORCOWE - PRZYWIERALNOŚĆ

Dokładność wykonania powierzchni pomiarowych płytek wzorcowych jest tak wysoka, że posiadają one zdolność do adhezyjnego łączenia się z innymi, podobnie wykonanymi, powierzchniami płaskimi wynikającą z działania sił międzycząsteczkowych. Zdolność taką nazywamy przywieralnością. Dzięki przywieralności płytki wzorcowe można łączyć w zwarte stosy bez dodatkowego oprzyrządowania.

PŁYTKI WZORCOWE - KRYTERIA

Wymagania odnośnie cech konstrukcyjnych i metrologicznych płytek wzorcowych, a także metod ich sprawdzania, zawiera norma PN-EN ISO 3650.

Wg w/w normy ocena dokładności wykonania powierzchni pomiarowych płytek wzorcowych powinna uwzględniać następujące kryteria:

- ♦ odchyłkę długości płytki;**
- ♦ odchyłkę płaskości powierzchni pomiarowej;**
- ♦ zmienność długości płytki (odchyłkę złożoną równoległości i płaskości);**
- ♦ przywieralność powierzchni pomiarowej;**

ODCHYŁKA DŁUGOŚCI PŁYTKI WZORCOWEJ

Odchyłka długości płytki wzorcowej (oznaczenie f_L) jest to różnica pomiędzy rzeczywistą długością płytki i jej długością nominalną.

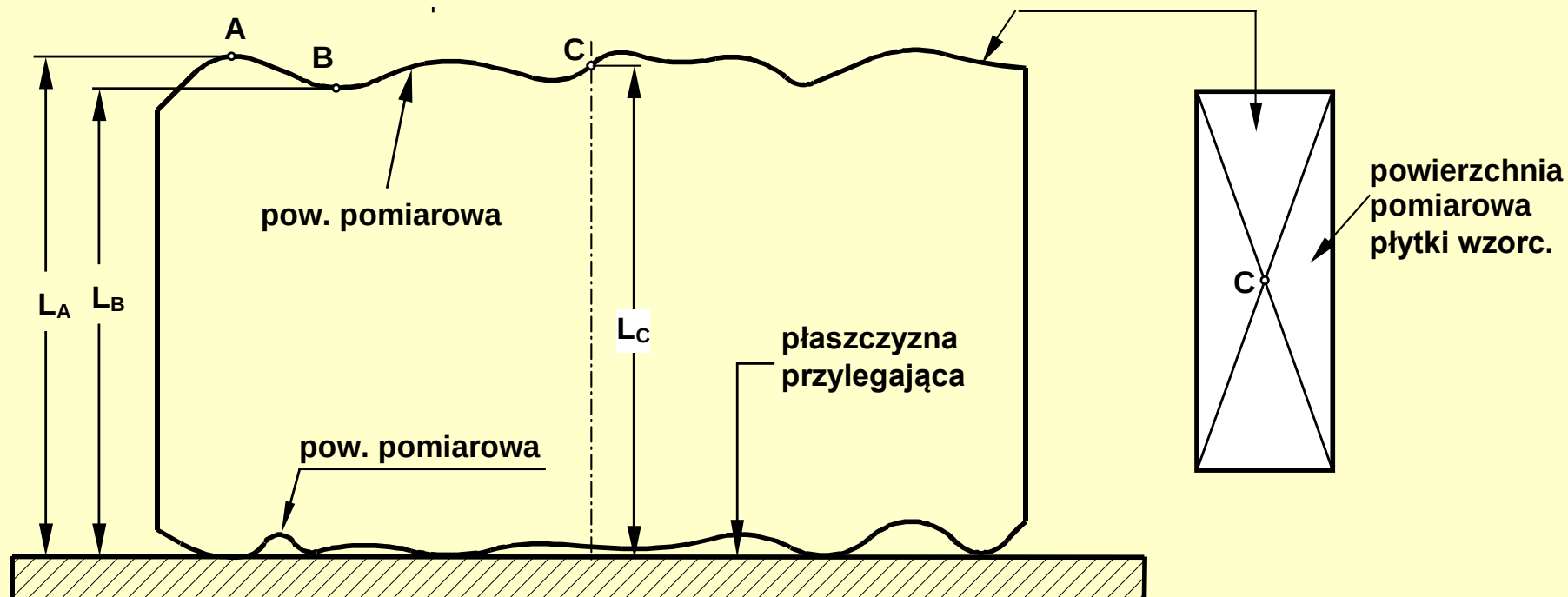
$$f_L = L_r - L_n$$

Nominalna długość płytki (oznaczenie L_n) to długość, którą płytka winna odtwarzać. Jej wartość nanosi się na bocznej powierzchni płytki lub, w przypadku płytek mniejszych, w ściśle określonym miejscu powierzchni pomiarowej

RZECZYWISTA DŁUGOŚĆ PŁYTKI

Rzeczywistą długość płytki L_r określa wzajemna odległość jej powierzchni pomiarowych. Ze względu na błędy kształtu i położenia tych powierzchni jest ona w różnych miejscach płytki różna. Z tego powodu rzeczywistą długość płytki wiąże się zawsze z określonym punktem jej powierzchni pomiarowej

RZECZYWISTA DŁUGOŚĆ PŁYTKI



Długość płytki w punkcie X jest to odległość tego punktu od powierzchni płaskiej, do której przywarta jest płytka swoją drugą powierzchnią pomiarową

ODCHYLENIE DŁUGOŚCI PŁYTKI WZORCOWEJ

Powiązanie rzeczywistej długości płytki z określonymi punktami jej powierzchni pomiarowej pociąga za sobą analogiczne przyporządkowanie odchylek długości

$$f_{L,X} = L_{r,X} - L_n$$

gdzie:

$f_{L,X}$ - odchylenie długości płytki w punkcie X;

$L_{r,X}$ - rzeczywista długość płytki w punkcie X ;

L_n - nominalna długość płytki;

DOPUSZCZALNA WARTOŚĆ ODCHYLENIA DŁUGOŚCI

Wg PN-EN ISO 3650 rzeczywiste odchyłki długości płytki wzorcowej winny spełniać warunek:

$$-F_L < f_{L,X} < F_L$$

gdzie:

F_L – gran. dopuszczalna wartość odchyłki długości

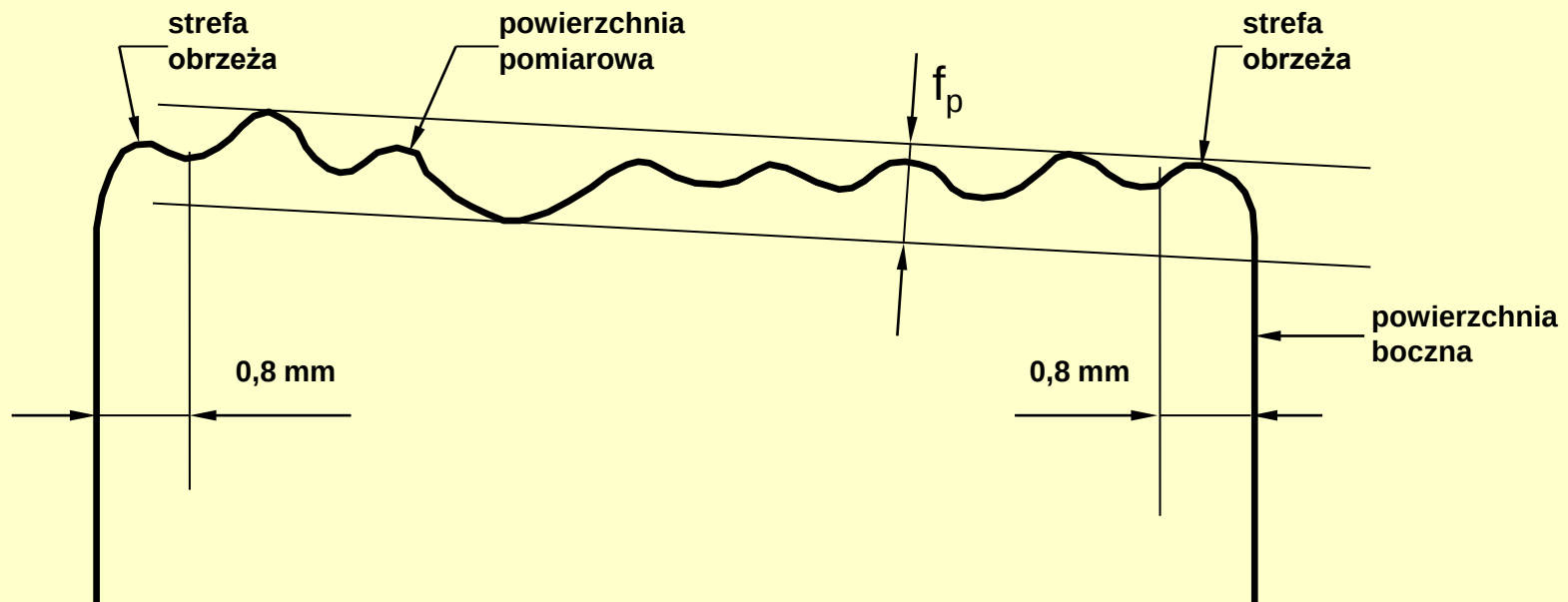
Zależność powyższa jest równoważna zależności

$$L_n - F_L < L_{r,X} < L_n + F_L$$

co oznacza, że długości płytek wzorcowych tolerowane są symetrycznie względem wymiaru nominalnego

ODCHYLENIE PŁASKOŚCI POW. POMIAROWEJ

Odchylenie płaskości powierzchni pomiarowej płytki jest to odległość dwóch płaszczyzn równoległych tak usytuowanych, aby leżąc możliwie najbliżej siebie obejmowały wszystkie punkty tej powierzchni



DOPUSZCZALNA WARTOŚĆ ODCHYŁKI PŁASKOŚCI

Odchyłka płaskości płytki winna spełniać warunek:

$$f_p \leq F_p$$

gdzie F_p - graniczna dopuszczalna wartość odchyłki płaskości.

ZMIENNOŚĆ DŁUGOŚCI PŁYTKI

Zmienność długości płytki f_v , jest to największa możliwa różnica pomiędzy długościami płytki w poszczególnych punktach jej powierzchni pomiarowej.

$$f_v = L_{X_{\max}} - L_{X_{\min}}$$

gdzie:

$X_{\max}$ - punkt powierzchni pomiarowej, w którym długość płytki jest największa;

$X_{\min}$ - punkt, w którym długość płytki jest najmniejsza;

DOPUSZCZALNA WARTOŚĆ ZMIENNOŚCI DŁUGOŚCI PŁYTKI

Zmienność długości płytki wynika z błędów płaskości oraz błędów nierównoległości jej powierzchni pomiarowych. Dlatego parametr ten bywa również nazywany odchyłką złożoną równoległości i płaskości.

Zmienność długości winna spełniać warunek:

$$f_v \leq F_v$$

gdzie F_v oznacza graniczną dopuszczalną wartość zmienności długości.

GRANICZNE DOPUSZCZALNE WARTOŚCI ODCHYLEK

Graniczne dopuszczalne wartości odchyłki długości, odchyłki zmienności długości oraz odchyłki płaskości płytki wzorcowej zależą od:

- klasy dokładności wykonania tej płytki oraz**
- od odtwarzanej przez nią długości.**

KLASY DOKŁADNOŚCI PŁYTEK

PN-EN ISO 3650 przewiduje cztery klasy dokładności wykonania płytek wzorcowych oznaczone odpowiednio symbolami

K, 0, 1, 2

Klasa K dotyczy wyłącznie płytek przeznaczonych do sprawdzania innych płytek wzorcowych. Charakteryzuje się bardzo wysokimi wymaganiami odnośnie kształtu (odchyłka płaskości, zmienność długości)

Pozostałe klasy mają charakter uniwersalny. Najdokładniejsza jest klasa 0, a najmniej dokładna klasa 2.

GRANICZNE DOPUSZCZALNE WARTOŚCI ODCHYLEK

Graniczne dopuszczalne wartości odchyłek długości F_L i zmienności długości F_v płytek wzorcowych długości $[\mu\text{m}]$									
L [mm]		K		0		1		2	
powyżej	do	F_L	F_v	F_L	F_v	F_L	F_v	F_L	F_v
0	10	0,2	0,05	0,12	0,10	0,2	0,16	0,45	0,3
10	25	0,3	0,05	0,14	0,10	0,3	0,16	0,6	0,3
25	50	0,4	0,06	0,20	0,10	0,4	0,18	0,8	0,3
50	75	0,5	0,06	0,25	0,12	0,5	0,18	1,0	0,35
75	100	0,6	0,07	0,30	0,12	0,6	0,20	1,2	0,35
100	150	0,8	0,08	0,40	0,14	0,8	0,20	1,6	0,4

DOPUSZCZALNE WARTOŚCI ODCHYLEK PŁASKOŚCI

Graniczne dopuszczalne wartości odchylek płaskości płytek wzorcowych					
L [mm]		F _p [μm] dla klas dokładności:			
powyżej	do	K	0	1	2
0	150	0.05	0.10	0.15	0.25
150	500	0.10	0.15	0.18	
500	1000	0.15	0.18	0.20	

DOPUSZCZALNE WARTOŚCI ODCHYLEK

Wymagania odnośnie wartości odchyłek nie dotyczą tzw. strefy obrzeża, tj. punktów powierzchni pomiarowych płytki leżących w odległości mniejszej niż 0,8 mm od jej powierzchni bocznych

Punkty strefy obrzeża nie mogą wystawać poza płaszczyznę styczną do pozostałej części powierzchni pomiarowej.

Przy sprawdzaniu płytek cienkich ($L_n \leq 2,5$ mm) należy przywrzeć je do płytek pomocniczych o długości $L_n \geq 11$ mm w celu likwidacji ewentualnego wypaczenia.

OCENA PRZYWIERALNOŚCI

- ◆ Przywieralność powierzchni pomiarowych płytek, ocenia się na podstawie obserwacji interferencyjnych obrazów tych powierzchni uzyskanych przy oświetleniu światłem białym po przywarciu do nich płasko-równoległej płytki interferencyjnej.
- ◆ Obraz powierzchni pomiarowej płytki powinien być pozbawiony prążków interferencyjnych, oraz barwnych i jasnych plam. Tylko w przypadku płytek wzorcowych klas 1 i 2 dopuszcza się niewielkie jasne plamy lub szare odcienie.

PŁYTKI WZORCOWE - MATERIAŁY

Płytki wzorcowe wykonuje się z materiałów odpornych na ścieranie i korozję, charakteryzujących się dużą stabilnością wymiarową oraz umożliwiających uzyskanie powierzchni, które będą dobrze do siebie przywierać. Stosuje się:

- ♦ wysokogatunkową stal stopową**
- ♦ materiał ceramiczny oparty na bazie tlenku cyrkonu (ZrO_2)**
- ♦ węgliki spiekane**

MATERIAŁY PŁYTEK – PORÓWNANIE

Materiał płytek	Współczynnik rozszerzalności	Twardość pow. pomiarowych
Stal stopowa	$(11,5 \pm 1) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	min. 800 HV
Tlenek cyrkonu	$(9,5 \div 10) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	1350 HV
Węglik spiekane	$(5,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	1650 HV

MATERIAŁY PŁYTEK – PORÓWNANIE

Porównując tlenek cyrkonu ze stalą należy stwierdzić, że posiada on cały szereg istotnych zalet. W szczególności wymienić należy:

- ♦ **większą odporność na ścieranie i uderzenia;**
- ♦ **niewrażliwość na korozję (jest odporny na działanie ługów, kwasów, itp. substancji agresywnych);**
- ♦ **antystatyczność (nie przyciąga kurzów i pyłów);**
- ♦ **diamagnetyczność (płytki mogą być stosowane w otoczeniu pola magnetycznego);**
- ♦ **większą twardość (1350 HV);**

PŁYTKI WZORCOWE – KOMPLETY

Producenci płytek wzorcowych oferują je pojedynczo lub w kompletach.

Komplety płytek wzorcowych można podzielić na:

- ◆ **uniwersalne (do realizacji różnych zadań);**
 - **podstawowe;**
 - **uzupełniające;**
- ◆ **specjalne (do realizacji określonego zadania) ;**

PŁYTKI WZORCOWE – KOMPLETY PODSTAWOWE

- ◆ **Komplety podstawowe zawierają płytki umożliwiające budowę stosów o szerokim zakresie długości ($\sim 3 \text{ mm} \div \sim 200 \text{ mm}$) z właściwym dla danego kompletu stopniowaniem.**
- ◆ **Komplety podstawowe mogą różnić się:**
 - **ilością płytek wchodzących w skład kompletu**
 - **zestawem wartości nominalnych tych płytek**
 - **klasą dokładności ich wykonania oraz**
 - **stopniowaniem długości budowanych stosów**

PŁYTKI WZORCOWE – KOMPLET PODSTAWOWY



Komplety podstawowe płytek produkcji krajowej

Nazwa i oznaczenie	Ilość płytek	Stopniowanie długości stos.	Klasy dokł. wykonania
Mały MLAa	47	0,005 mm	0,1 i 2
Średni MLAb	76	0,005 mm	0,1 i 2
Duży MLAc	103	0,005 mm	0,1 i 2
Duży rozszerzony MLAr	112	0,0005 mm	0 i 1

KOMPLET PODSTAWOWY MAŁY

Nazwa kompletu / oznacz.	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
	1.005	-
Mały	1.01 - 1.09	0.01
	1.1 - 1.9	0.1
MLAa	1 - 24	1
	25 - 100	25

KOMPLET PODSTAWOWY ŚREDNI

Nazwa kompletu / oznacz.	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
Średni MLAb	1.005	-
	1.01 - 1.49	0.01
	0.5 - 9.5	0.5
	10 - 50	10
	25, 100	-

KOMPLET PODSTAWOWY DUŻY

Nazwa kompletu / oznacz.	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
Duży MLAc	1.005	-
	1.01 - 1.49	0.01
	0.5 - 24.5	0.5
	25 - 100	25

KOMPLET PODSTAWOWY DUŻY ROZSZERZONY

Nazwa kompletu / oznacz.	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
Duży rozszerzony MLAr	1.0005	-
	1.001 - 1.009	0.001
	1.01 - 1.49	0.01
	0.5 - 24.5	0.5
	25 - 100	25

PORÓWNANIE KOMPLETÓW PODSTAWOWYCH

- ♦ zakresy pomiarowe wszystkich czterech kompletów są zbliżone;
- ♦ stopniowanie długości stosów budowanych z płytek kompletów małego, średniego i dużego jest jednakowe i wynosi 5 μm . Wyjątek: komplet duży rozszerzony - stopniowanie co 0.5 μm ;
- ♦ stosy budowane z kompletów większych składają się najczęściej z mniejszej liczby płytek;
- ♦ kompletem większym może posługiwać się równocześnie więcej osób;
- ♦ w przypadku kompletu większego określony wymiar stosu można uzyskać na więcej różnych sposobów

KOMPLETY UZUPEŁNIAJĄCE - FUNKCJE

Komplety uzupełniające przeznaczone są głównie do wspomagania kompletów podstawowych.

W zależności od swego składu mogą:

- ♦ **umożliwiać drobniejsze stopniowanie długości budowanych stosów;**
- ♦ **rozszerzać zakresy pomiarowe kompletów podstawowych w stronę wartości małych ($L < 3 \text{ mm}$);**
- ♦ **rozszerzać zakresy pomiarowe kompletów podstawowych w stronę wartości dużych ($L > 200 \text{ mm}$);**
- ♦ **zwiększać trwałość płytek kompletów podstawowych**

KOMPLET UZUPEŁNIAJĄCY MIKROMETRYCZNY

Nazwa kompletu / oznacz.	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
Mikrometryczny	0.991 - 0.999	0.001
	1.001 - 1.009	0.001

Wykonywany w klasach dokładności 0, i 1

KOMPLET UZUPEŁNIAJĄCY PONIŻEJ 1 MM

Nazwa kompletu	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
Uzupełniający poniżej 1 mm	0.41 - 0.49	0.01
	0.2 - 0.9	0.1
	0.405	-

Wykonywany w klasach dokładności 0, 1 i 2

KOMPLET UZUPEŁNIAJĄCY POWYŻEJ 100 MM

Nazwa kompletu	Wymiar nominalny lub zakres wymiarów nominalnych	Stopniowanie wymiarów w zakresie
Uzupełniający powyżej 100 mm	125 - 200	25
	250 - 300	50
	400 - 500	100

Wykonywany w klasach dokładności 0, 1 i 2

KOMPLET PŁYTEK OCHRONNYCH

Nazwa kompletu	Wymiar nominalny	Ilość płytek	Materiał
Komplet płytek ochronnych	1	2	Węglik spiekane
	lub 2	2	

Wykonywany w klasach dokładności 0, 1 i 2

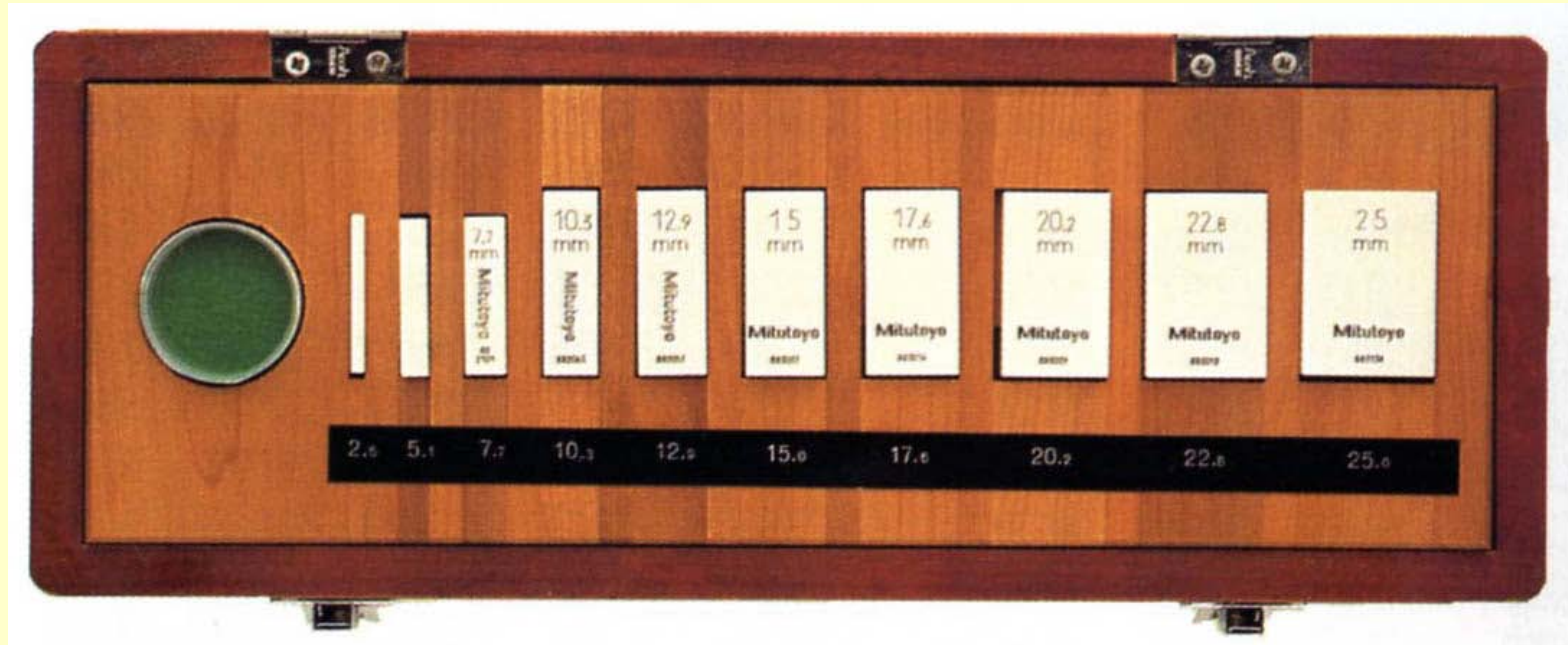
PŁYTKI WZORCOWE – KOMPLETY SPECJALNE

Komplety specjalne przeznaczone są do ściśle określonych zadań metrologicznych i w zasadzie tylko do tych zadań się nadają.

Przykład: komplet płytek wzorcowych do sprawdzania mikrometrów.

(komplet ten zawiera 10 płytek o wymiarach, w których sprawdza się dokładność wskazań mikrometru. Użycie tego kompletu skraca czas kontroli, bo nie ma potrzeby budowy stosów oraz zwiększa jej dokładność)

PŁYTKI WZORCOWE – KOMPLETY SPECJALNE



Wymiary płytek:

2,5/5,1/7,7/10,3/12,9/15,0/17,6/20,2/22,8/25,0 mm,

PRZYBORY POMOCNICZE DO PŁYTEK WZORCOWYCH



PARAMETRY STOSU PŁYTEK

Wymiar L odtwarzany przez stos płytek jest równy sumie wymiarów odtwarzanych przez składające się nań płytki

$$L = \sum L_i$$

Niepewność $\Delta_u L$ wymiaru odtwarzanego przez stos, wynikającą z odchyłek długości poszczególnych płytek, oblicza się z zależności:

$$\Delta_u L = \sqrt{\sum_i (F_{L_i})^2}$$

DOBÓR PŁYTEK

Aby ograniczyć wartość niepewności wymiaru stosu, należy zbudować go z możliwie najmniejszej liczby płytek.

Osiąga się to dobierając kolejne płytki w taki sposób, aby wartość długości pozostałej części stosu maksymalnie zaokrąglić.

DOBÓR PŁYTEK – PRZYKŁAD I

Przykład: budowa stosu o długości $L = 68.785$ mm z płytek kompletu małego

1) 68.785	2) 67.78	3) 66.7	4) 65	5) 50
-1.005	-1.08	-1.7	-15	-50
67.780	66.70	65.0	50	0

Dobre płytki: $1,005+1,08+1,7+15+50$ (5 szt)

DOBÓR PŁYTEK – PRZYKŁAD II

Przykład: budowa stosu o długości $L = 68.785$ mm z płytek kompletu dużego

$$\begin{array}{r} 1) \ 68.785 \\ -1.005 \\ \hline 67.780 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2) \ 67.78 \\ -1.28 \\ \hline 66.50 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3) \ 66.5 \\ -16.5 \\ \hline 50.0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4) \ 50 \\ -50 \\ \hline 0 \end{array}$$

Dobrane płytki: $1,005+1,28+16,5+50$ (4 szt)

BUDOWA STOSU

Wybrane płytki należy:

- ♦ **oczyścić ze środka konserwującego;**
- ♦ **odtłuścić poprzez umycie w benzynie;**
- ♦ **wytrzeć do sucha w czystą lnianą lub bawełnianą szmatkę;**
- ♦ **nasunąć na siebie z lekkim poprzecznym dociskiem**

(płytki cienkie należy umieszczać pomiędzy płytkami grubszyymi; w przypadku wielokrotnego używania stosu na jego krańcach należy przywrzeć płytki ochronne)

WZORCE KĄTA

Naturalnym wzorcem kąta jest kąt pełny zawierający 360° lub 2π radianów.

Wzorce innych wartości kąta uzyskuje się poprzez odpowiedni podział kąta pełnego.

Wzorce kąta mogą odtwarzać wartości kąta za pomocą:

- kres naniesionych na obwodzie koła, walca lub stożka (wzorce kreskowe);
- odpowiednio nachylonych względem siebie dokładnie wykonanych płaszczyzn (wzorce końcowe).

KRESKOWE WZORCE KĄTA

Wzorce kreskowe rzadko występują samodzielnie

Wzorce kreskowe stanowią najczęściej integralne części różnych przyrządów pomiarowych

Przykłady:

- **worzec kreskowy kąta naniesiony na korpusie kątomierza uniwersalnego;**
- **worzec kreskowy kąta na płytce głowicy gonio-metrycznej mikroskopu warsztatowego;**

KOŃCOWE WZORCE KĄTA

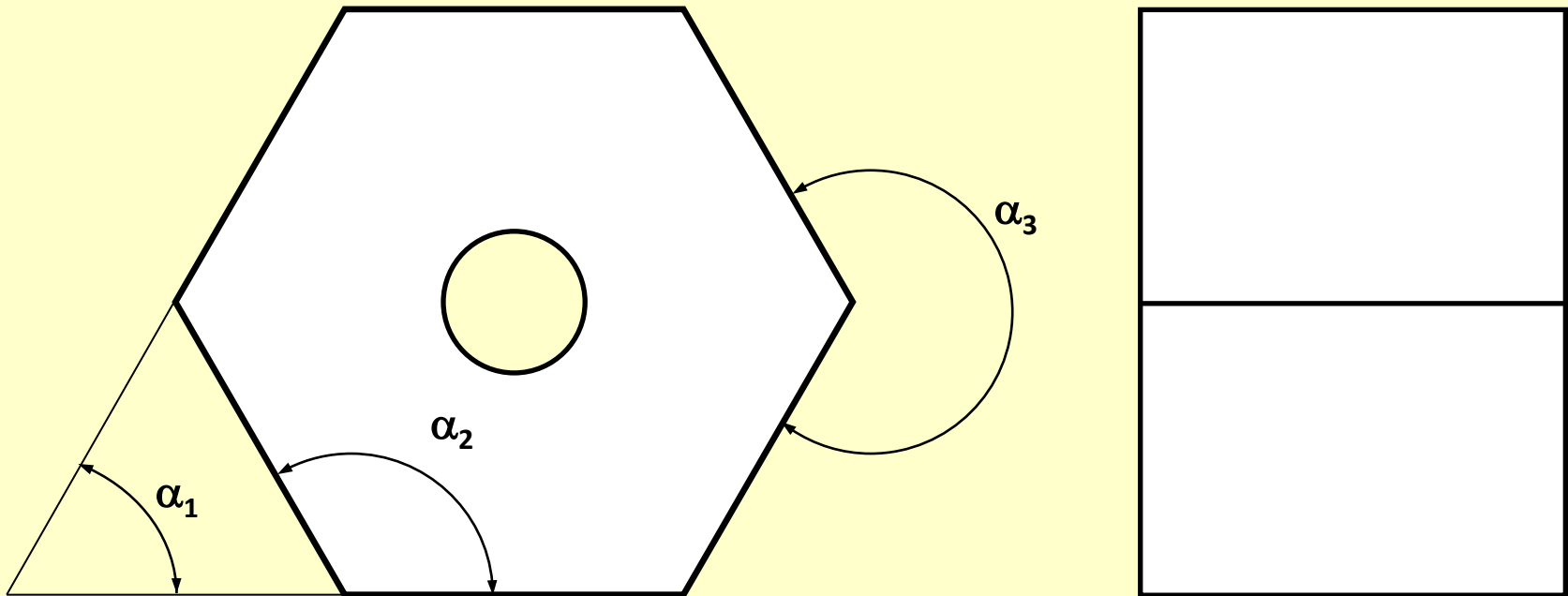
W grupie wzorców końcowych kąta wyróżnia się:

- **pryzmy wielościenne**
- **płytki wzorcowe kąta**
- **kątowniki.**

PRYZMY WIELOŚCIENNE

- ◆ **Pryzmy wielościenne używane są przeważnie jako etalony, tj. do kontroli i ewentualnej adiustacji innych narzędzi pomiarowych.**
- ◆ **Pryzmy wielościenne mają kształt graniastosłupa o podstawie wielokąta foremnego.**
Odtwarzana wartość kąta zawarta jest pomiędzy dwoma powierzchniami bocznymi tego graniastosłupa

PRYZMY WIELOŚCIENNE



PRYZMY WIELOŚCIENNE PRODUKCJI F-MY TESA

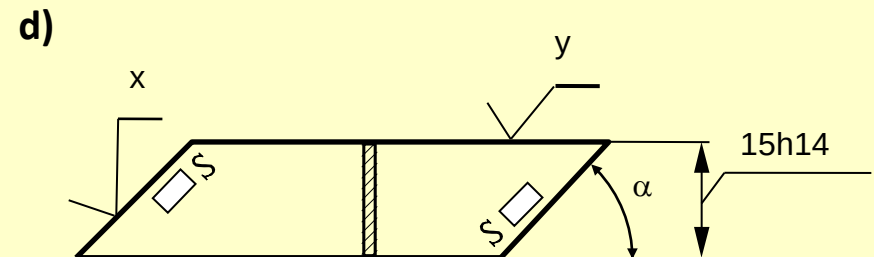
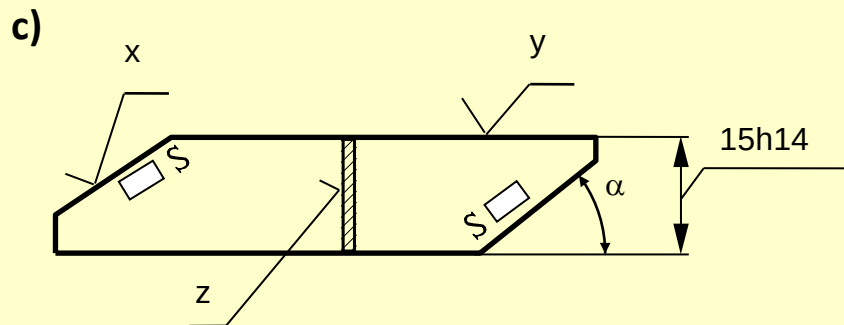
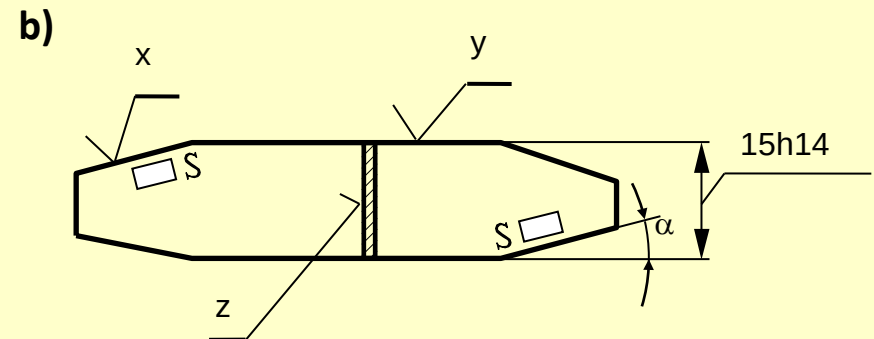
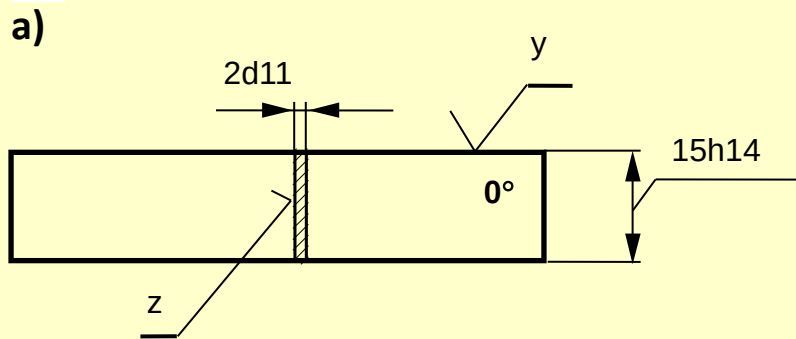
Parametr	Klasa		
	referencyjna	kalibracyjna	kontrolna
Płaskość pow. pomiarowych	0 ,05 μm	0,05 μm	0,125 μm
Dopuszczalna odchyłka kąta	$\pm 5''$	$\pm 10''$	$\pm 15''$
Ilość powierzchni pomiarowych	5, 6 ,7, 8, 9, 10, 11 lub 12		

PŁYTKI WZORCOWE KĄTA

Wyróżnia się trzy odmiany płytek wzorcowych kąta:

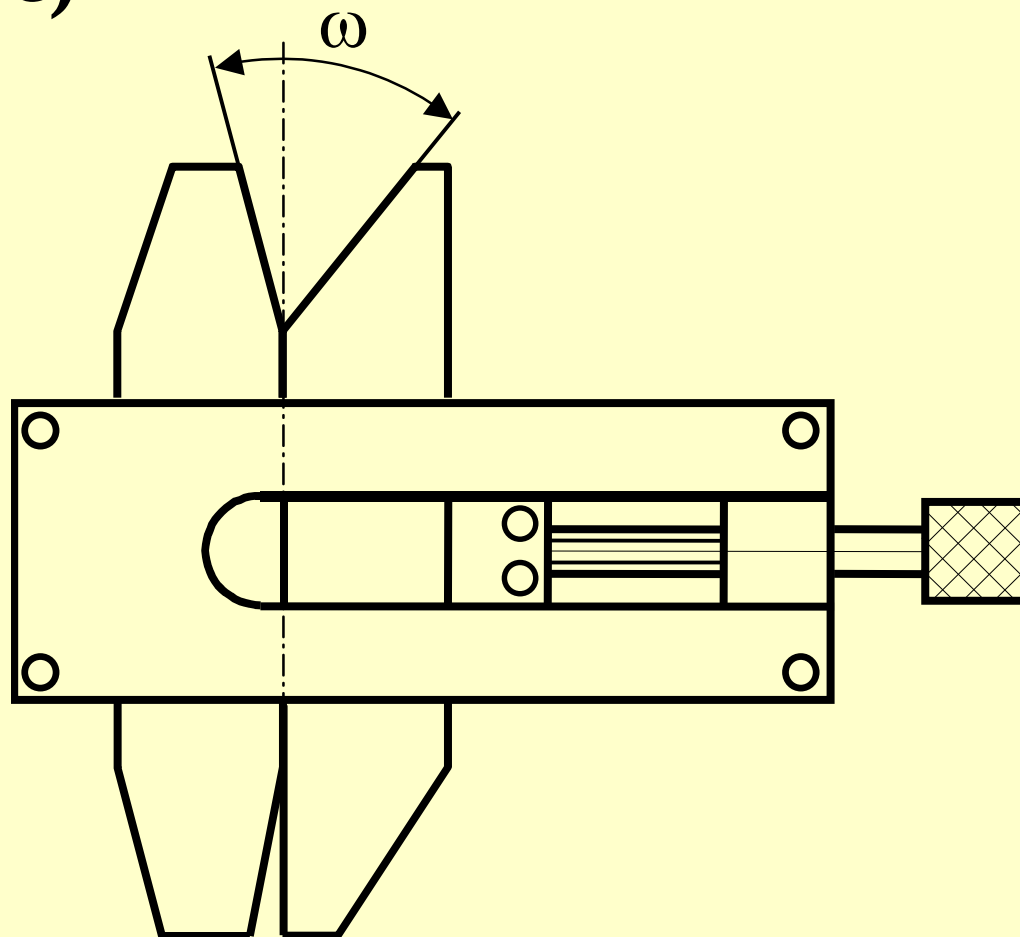
- **płytki kątowe Johanssona (wychodzą z użytkowania)**
- **płytki kątowe Kuznikowa (wychodzą z użytkowania)**
- **płytki kątowe przywieralne (zastępują poprzednie dwie odmiany)**

PŁYTKI KĄTOWE JOHANSSONA



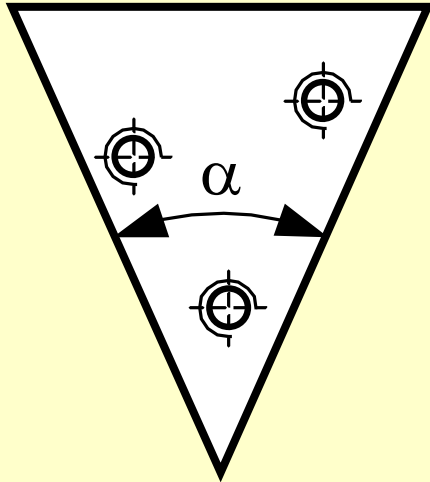
PŁYTKI KĄTOWE JOHANSSONA

e)

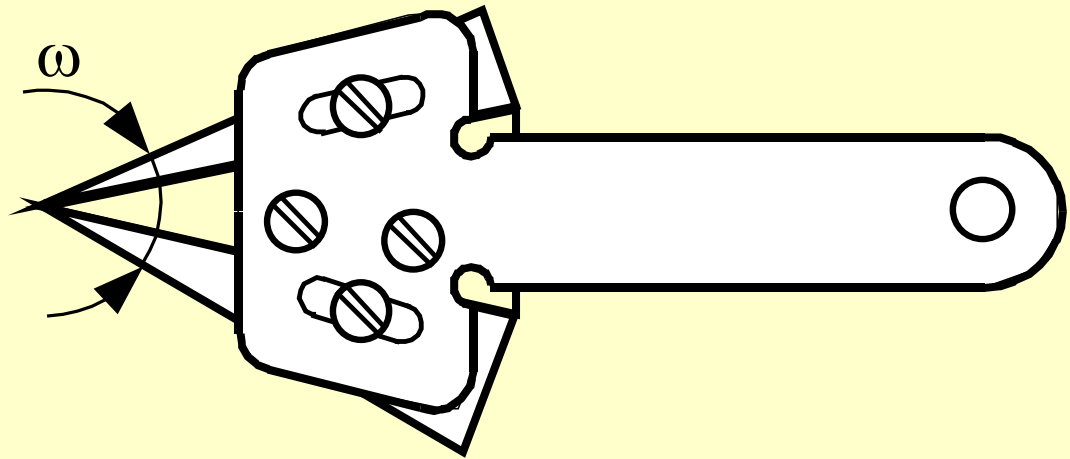


PŁYTKI KĄTOWE KUSZNIKOWA

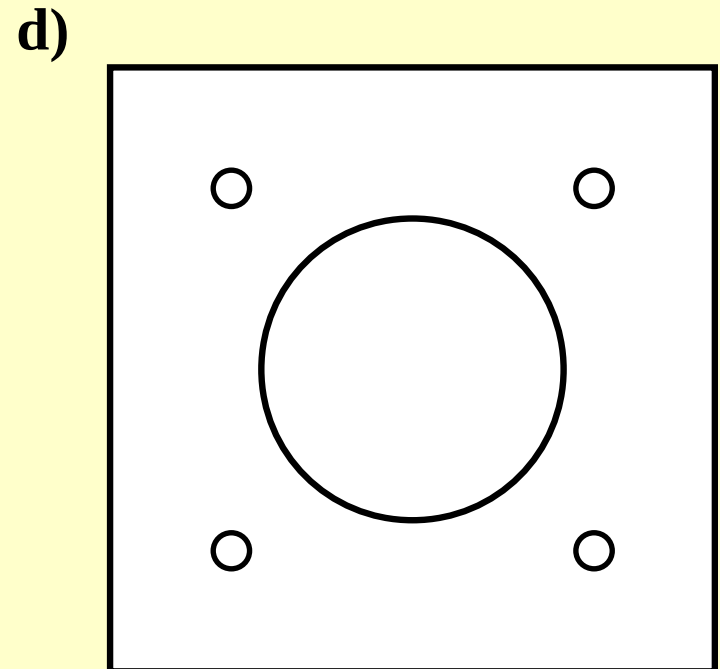
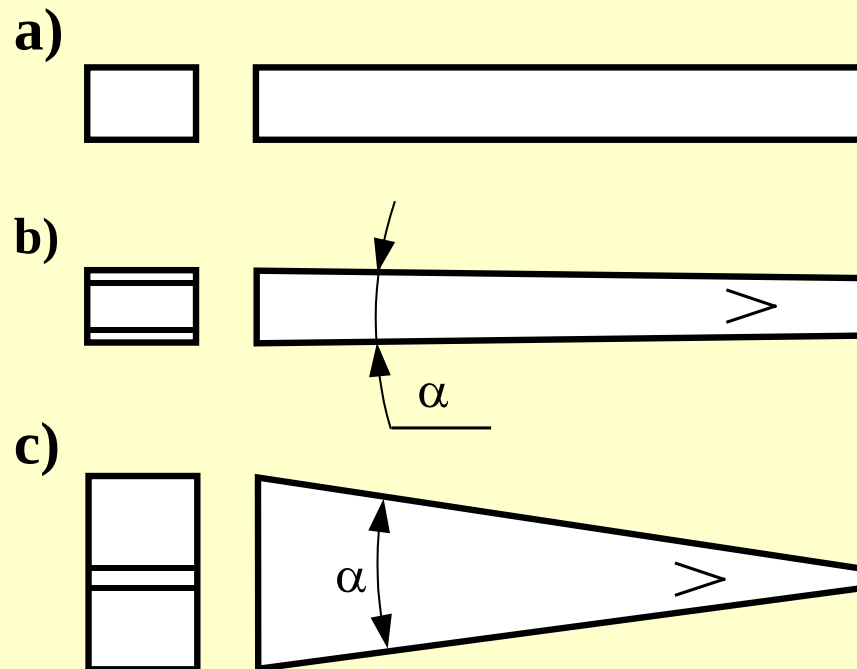
a)



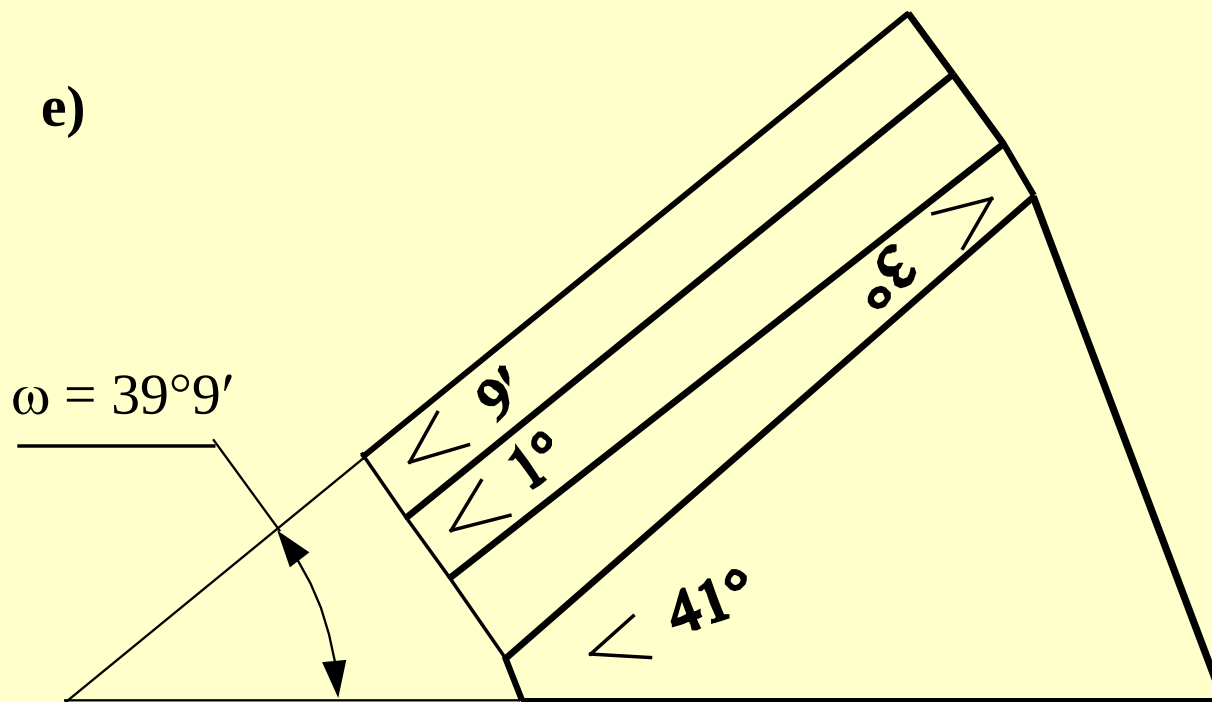
b)



PŁYTKI KĄTOWE PRZYWIERALNE



PŁYTKI KĄTOWE PRZYWIERALNE



Płytki kątowe przywieralne można składać w stosy wykorzystując w tym celu jedynie siły przyciągania międzycząsteczkowego (bez dodatkowych uchwytów)

KĄT WZORCOWY

Kąt wzorcowy ω jest równy sumie kątów odtwarzanych przez użyte do jego utworzenia płytki.

Każdą z płytek można wykorzystać na dwa różne sposoby: dodając odtwarzany przez nią kąt lub go odejmując.

Niepewność wartości kąta wzorcowego określa zależność:

$$\Delta\omega = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i \alpha)^2}$$

PŁYTKI KĄTOWE – WYMAGANIA

Płytki kątowe przywieralne oferowane są pojedynczo lub w kompletach.

Wymagania odnośnie dokładności płytek określane są zwykle za pomocą dwóch parametrów:

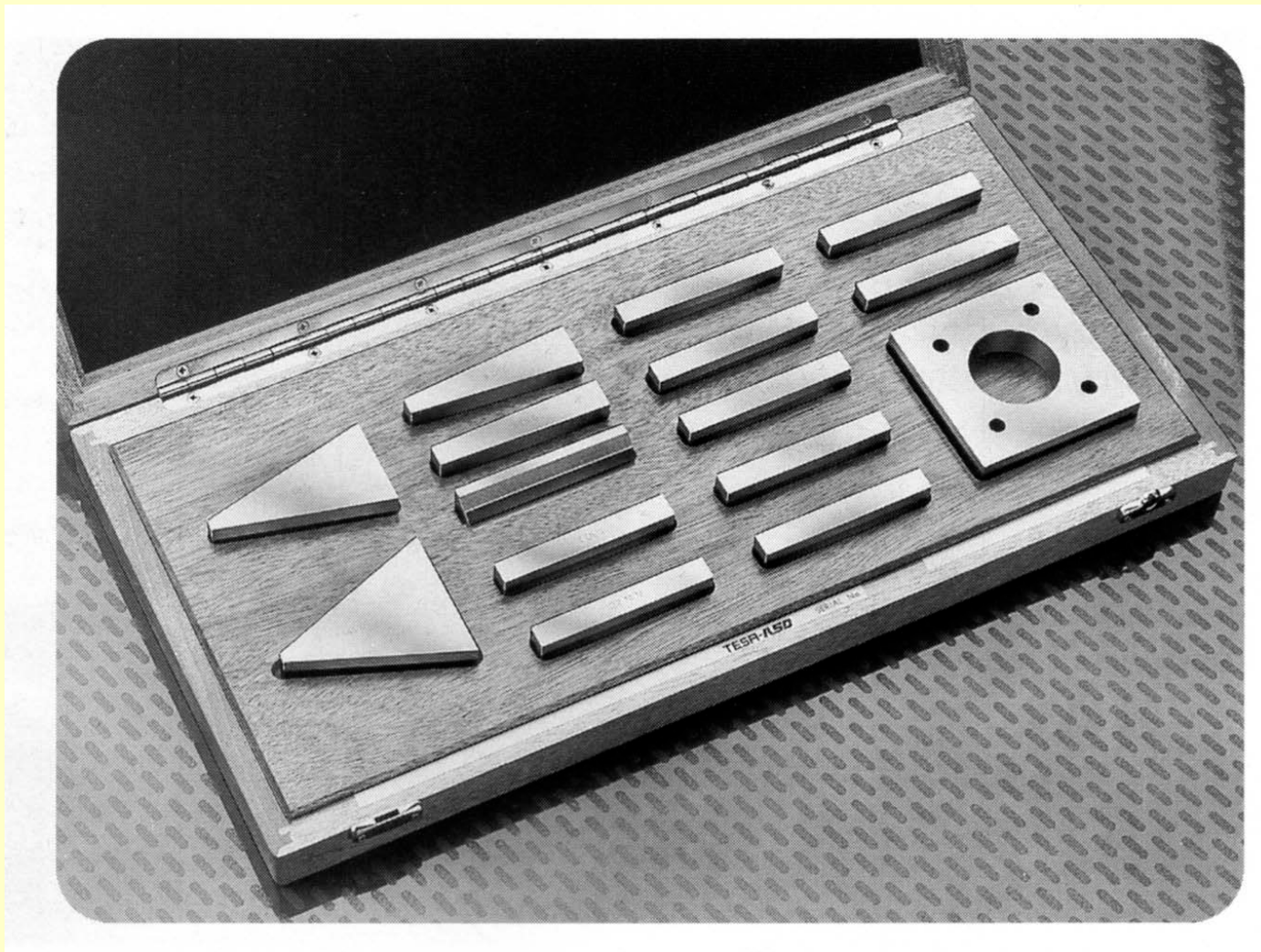
- odchyłki płaskości powierzchni pomiarowych - Δ_p**
- niepewności wartości odtwarzanego kąta - $\Delta_u \alpha$**

Graniczne dopuszczalne wartości tych parametrów są z reguły niezależne od wartości kątów odtwarzanych przez poszczególne płytki (jednakowe dla wszystkich płytek wchodzących w skład określonego kompletu).

Płytki kątowe przywieralne produkcji f-my TESA

Oznaczenie kompletu	Ilość płytek	Zakres pomiarowy	Stopniowanie w zakresie
A6	6	$0^{\circ} \div 90^{\circ}$	1°
A13	13	$0^{\circ} \div 90^{\circ}$	1°
A15	15	$0^{\circ} \div 90^{\circ}$	$10''$
A16	16	$0^{\circ} \div 90^{\circ}$	$10''$
A27	27	$0^{\circ} \div 90^{\circ}$	$10''$
A	15	$0^{\circ} \div 81^{\circ}$	$3''$
B	14	$0^{\circ} \div 81^{\circ}$	$6''$

PLYTKI KĄTOWE f-my TESA – WYGLĄD



PŁYTKI KĄTOWE f-my TESA – PARAMETRY

- ◆ **Wymiary powierzchni pomiarowej – (50x9)mm**
- ◆ **Dopuszczalna wartość odchyłki płaskości powierzchni pomiarowej – 0,2 μm**
- ◆ **Niepewność wartości odtwarzanego kąta - 2"**
- ◆ **Materiał – wysokogatunkowa stal stopowa odporna na ścieranie i korozję**
- ◆ **Twardość powierzchni pomiarowych ≥ 800 HV**

PŁYTKI KĄTOWE PRZYWIERALNE – ZASTOSOWANIA

Płytki kątowe przywieralne używane są do:

- **dokładnych pomiarów kątów i stożków;**
- **do kontroli i ew. adjustacji narzędzi do pomiaru kątów (kątomierzy, podzielnic, stołów obrotowych,**

KĄTOWNIKI – DEFINICJA, PODZIAŁ

Kątowniki - wzorce kąta prostego powszechnie używane zarówno w warsztatach produkcyjnych jak i laboratoriach

Wyróżnia się:

- ◆ **kątowniki krawędziowe;**
- ◆ **kątowniki powierzchniowe;**
- ◆ **kątowniki walcowe;**

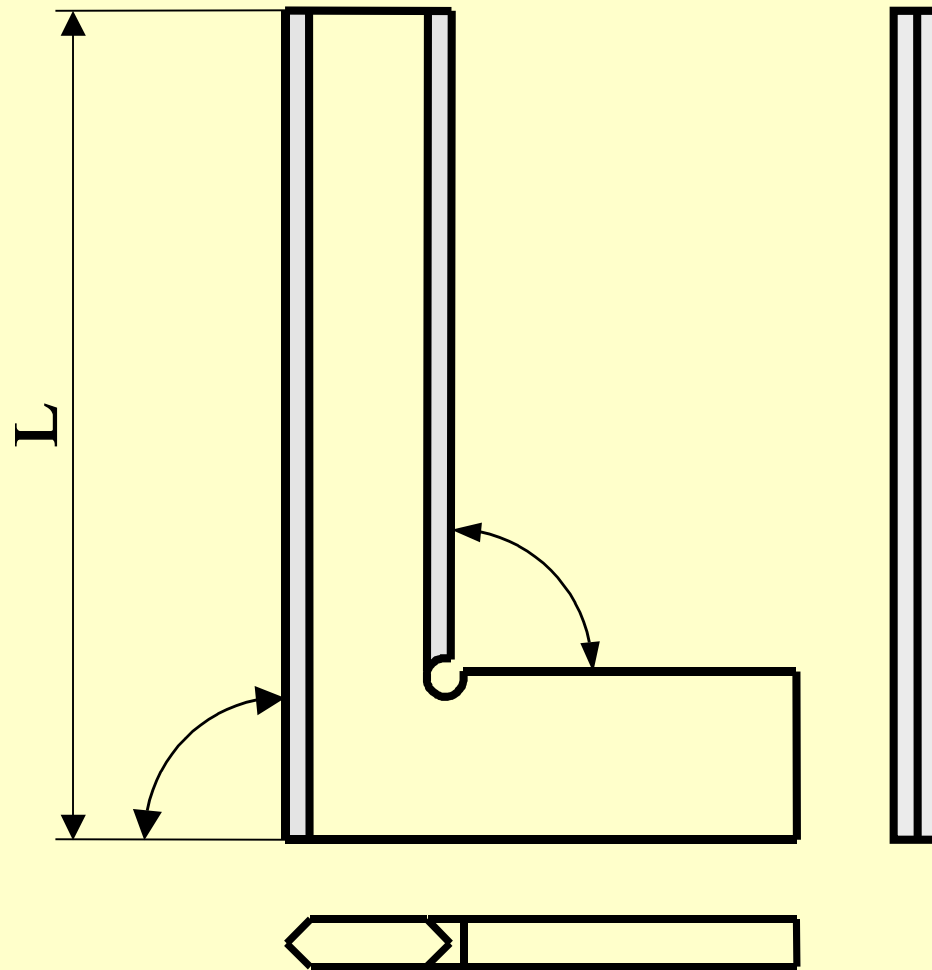
KĄTOWNIKI KRAWĘDZIOWE

W kątownikach krawędziowych odtwarzana wartość kąta zawarta jest pomiędzy prostoliniową krawędzią, a płaszczyzną pomiarową.

Kątowniki te występują w trzech odmianach,

- ◆ **kątownik krawędziowy płaski**
- ◆ **kątownik krawędziowy z grubym ramieniem**
- ◆ **kątownik krawędziowy pełny**

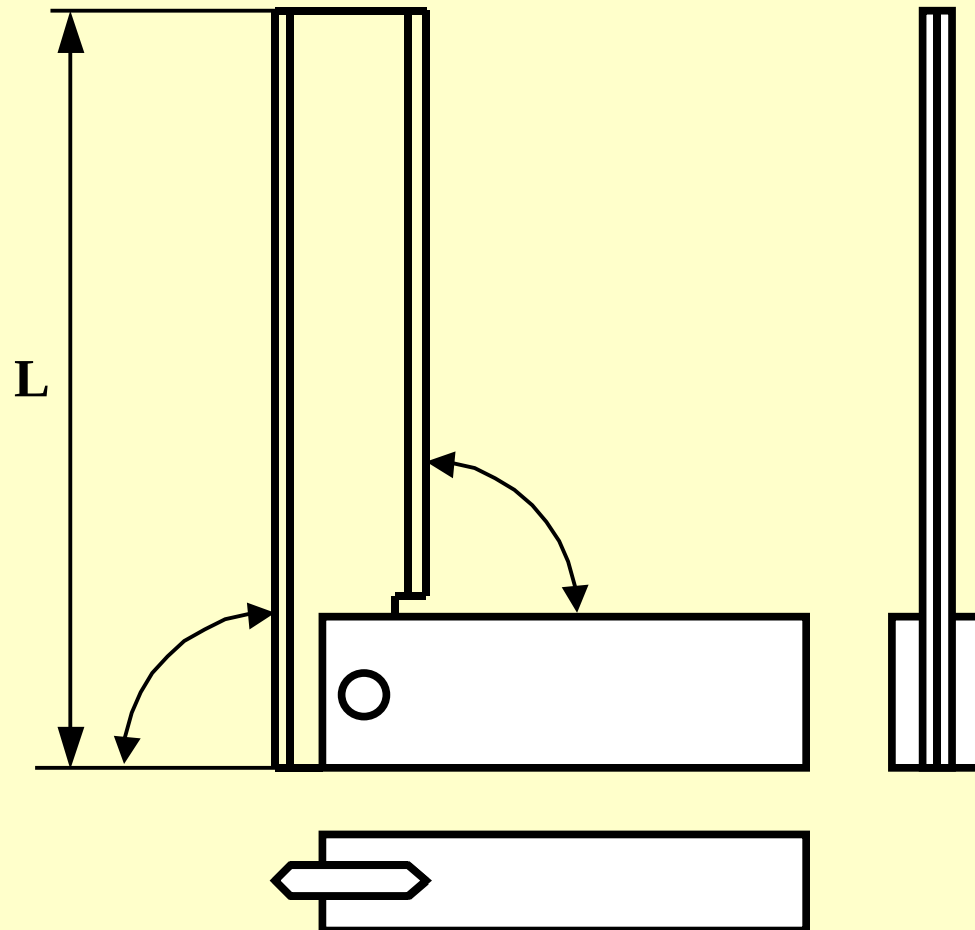
KĄTOWNIK KRAWĘDZIOWY PŁASKKI



**Klasy
dokł.
00 i 0**

**L =
(25÷300)
mm**

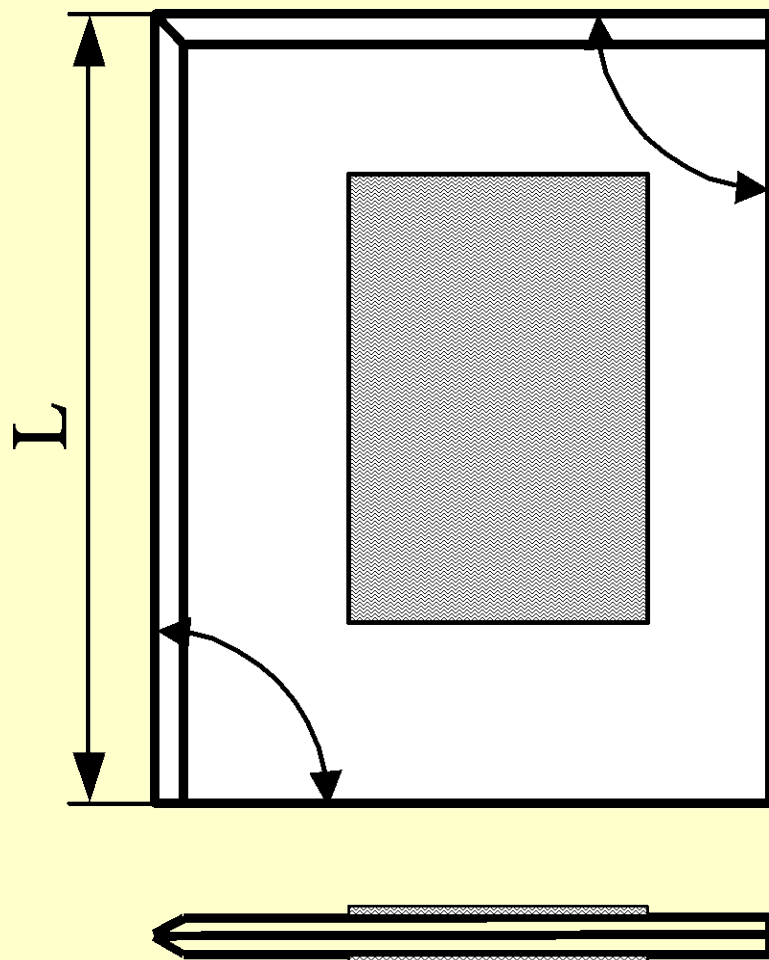
KĄTOWNIK KRAWĘDZIOWY Z GRUBYM RAMIENIEM



Klasy
dokł.
00 i 0

$L =$
(40÷200)
mm

KĄTOWNIK KRAWĘDZIOWY PEŁNY



**Klasy
dokł.
00 i 0**

**L =
(50÷80)
mm**



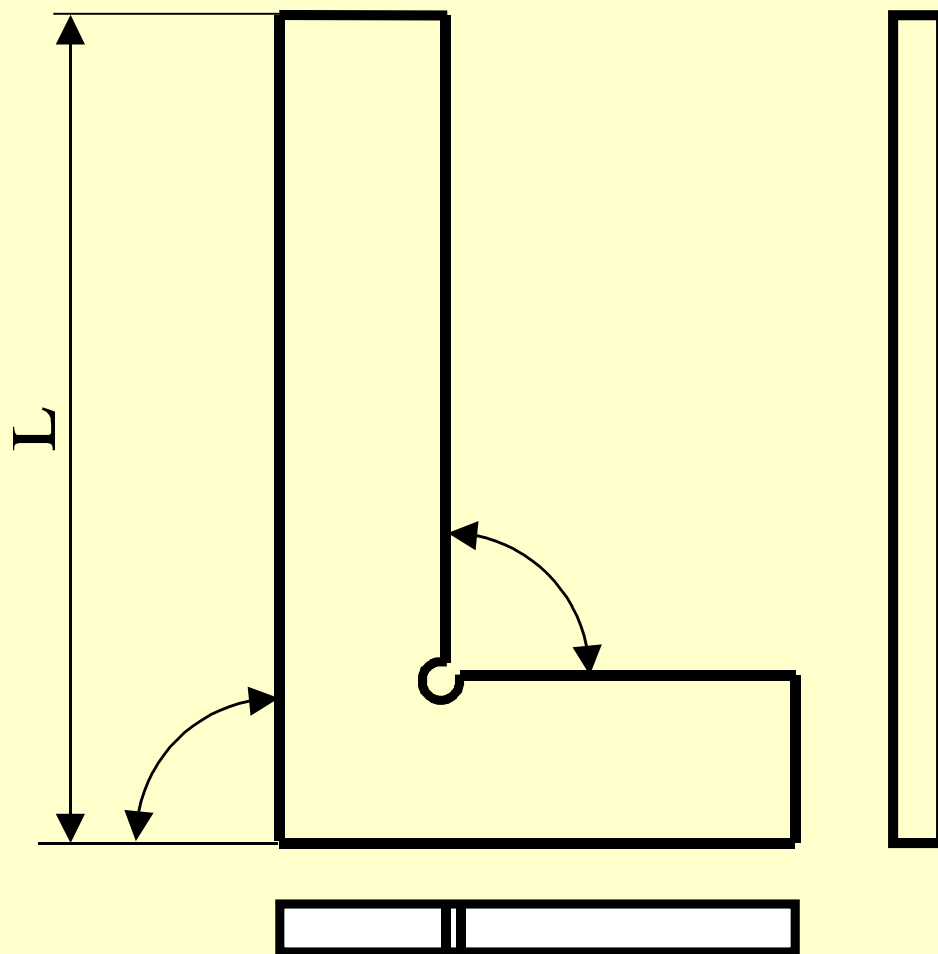
KĄTOWNIKI POWIERZCHNIOWE

W kątownikach powierzchniowych odtwarzana wartość kąta zawarta jest pomiędzy dwoma powierzchniami pomiarowymi.

Kątowniki te wykonywane są w trzech odmianach:

- ◆ **kątownik powierzchniowy płaski**
- ◆ **kątownik powierzchniowy z grubym ramieniem**
- ◆ **kątownik powierzchniowy ze stopą**

KĄTOWNIK POWIERZCHNIOWY PŁASKI

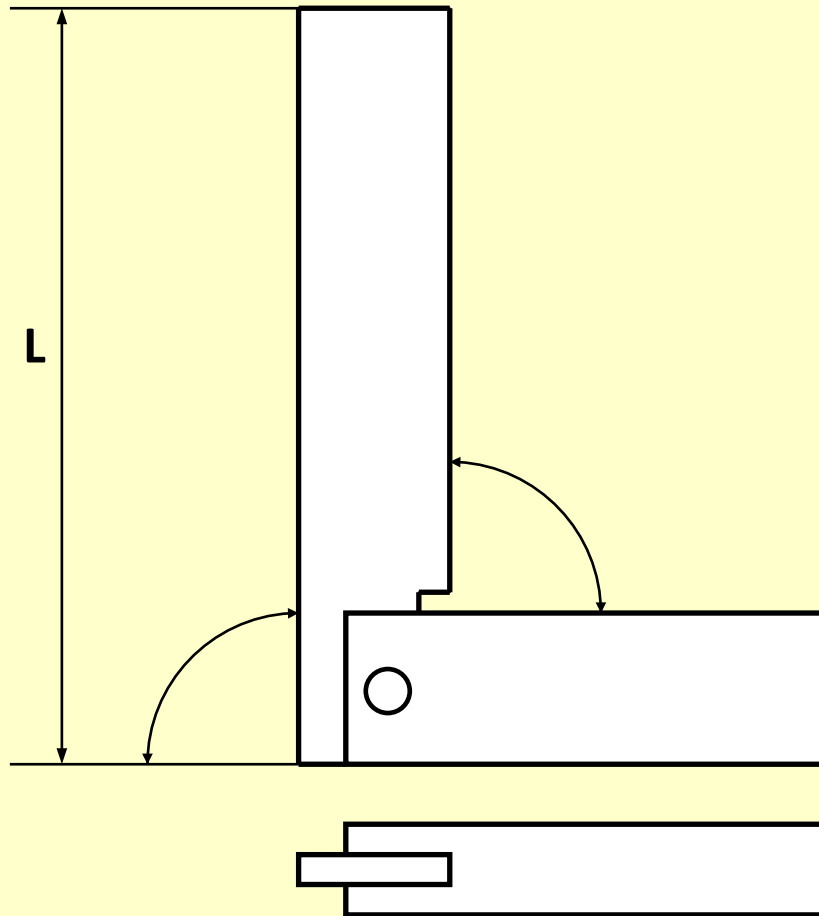


**Klasy
dokł.
0, 1 i 2**

**$L =$
 $(40 \div 500)$
mm**



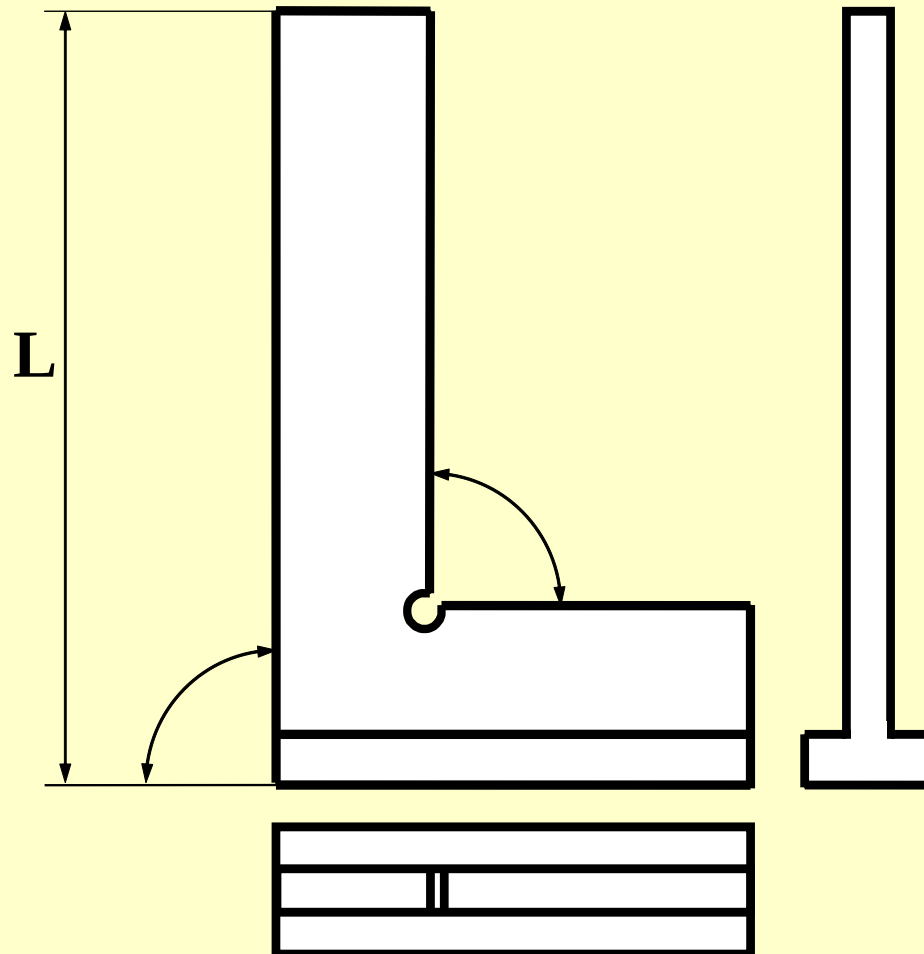
KĄTOWNIK POWIERZCHNIOWY Z GRUBYM RAMIENIEM



**Klasy
dokł.
00 i 0**

**$L =$
(40÷400)
mm**

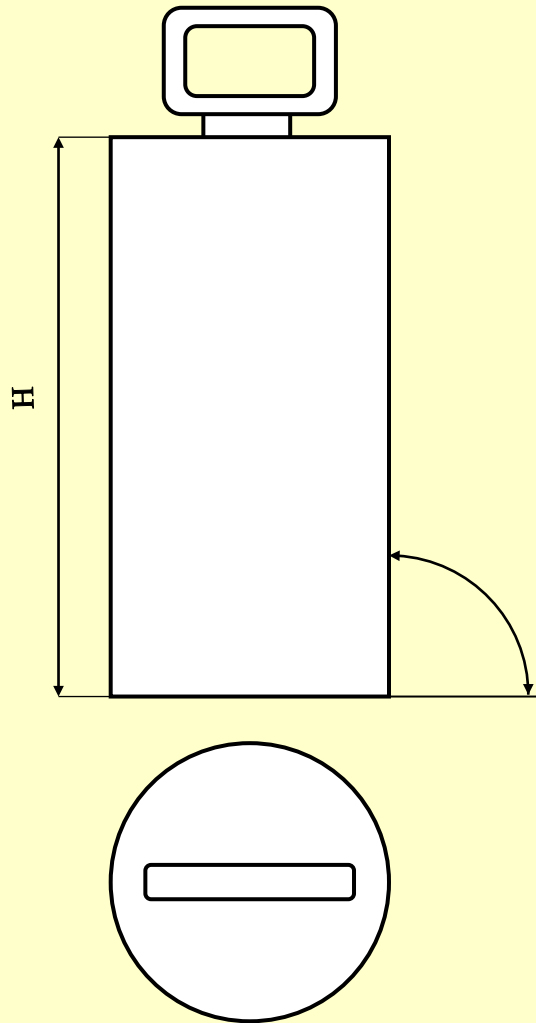
KĄTOWNIK POWIERZCHNIOWY ZE STOPĄ



**Klasy
dokł.
0, 1 i 2**

**L =
(50÷500)
mm**

KĄTOWNIKI WALCOWE

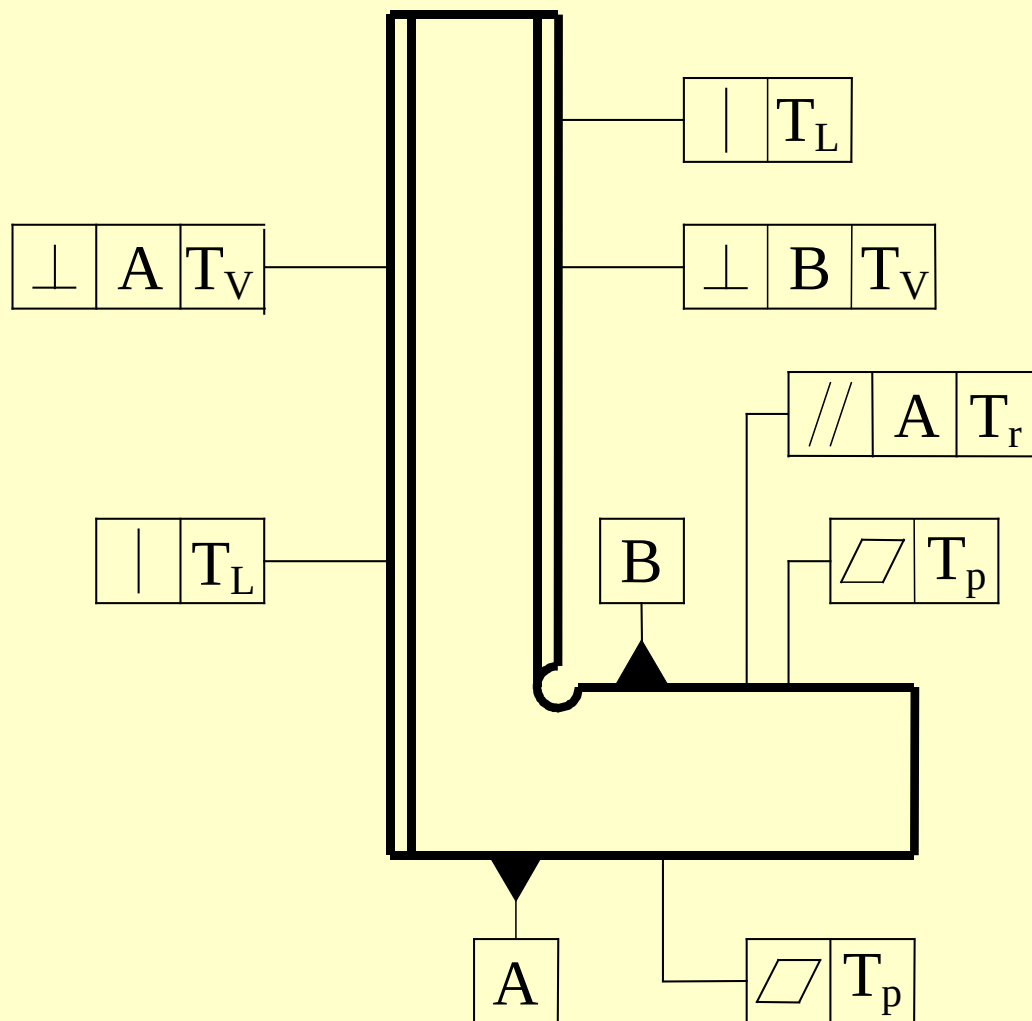


Kątowniki walcowe mają kształt walca. Odtwarzana wartość kąta zawarta jest pomiędzy dowolną tworzącą tego walca, a płaszczyzną jego podstawy.

Klasy dokładności: 00 i 0

$$H = (150 \div 700) \text{ mm}$$

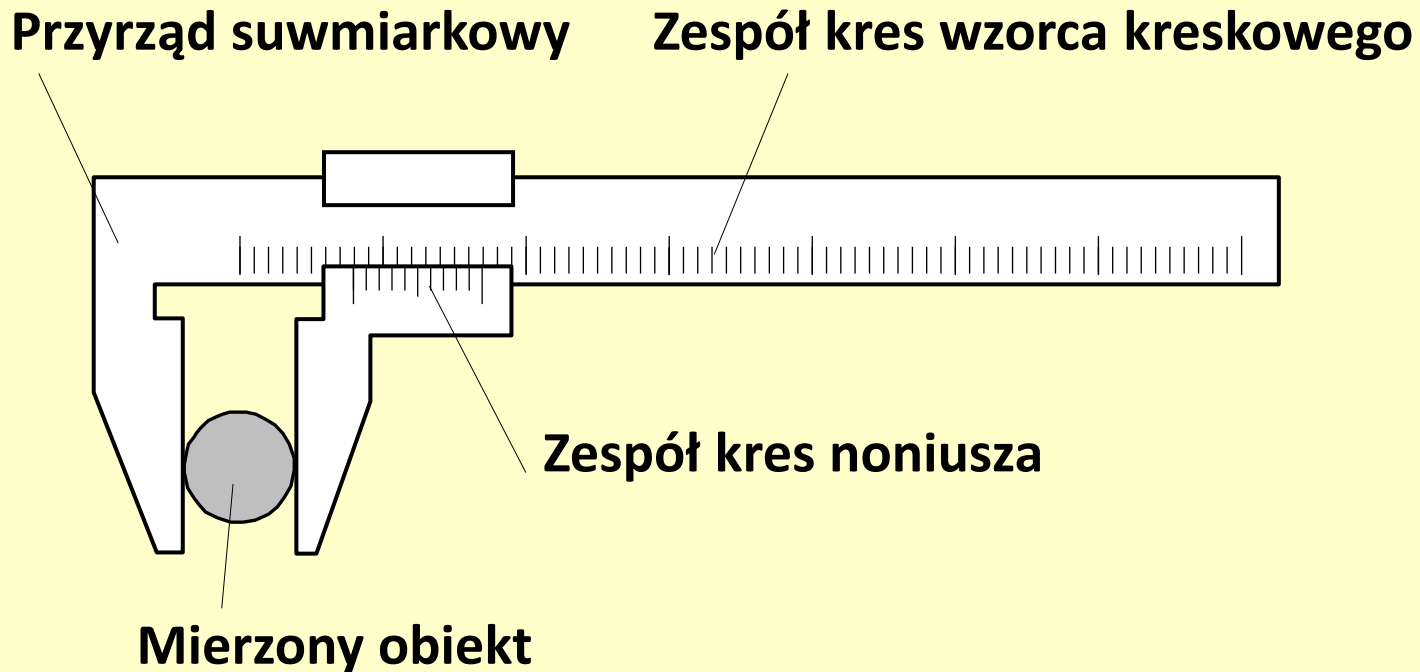
KĄTOWNIKI – WYMAGANIA



Dopuszczalne odchyłki kształtu i położenia elementów pomiarowych kątowników PN-86/ M-53 160

Klasa dokładności wykonania kątownika	Dopuszczalne wart. odchyłek kształtu $T_L=T_p$ [μm]	Dopuszczalne wartości odchyłek położenia $T_v=T_r$ [μm]
00	2 ÷ 3	2 ÷ 6
0	3 ÷ 6	4 ÷ 12
1	6 ÷ 40	10 ÷ 30
2	10 ÷ 80	20 ÷ 60

PRZYZRZĄDY SUWMIARKOWE - DEFINICJA



Przyrządy suwmiarkowe - grupa przyrządów do pomiarów długości działających w oparciu o kreskowe wzorce długości i posiadających zwiększające dokładność odczytu dodatkowe zespoły kres zwane noniuszami

PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE - CHARAKTERYSTYKA

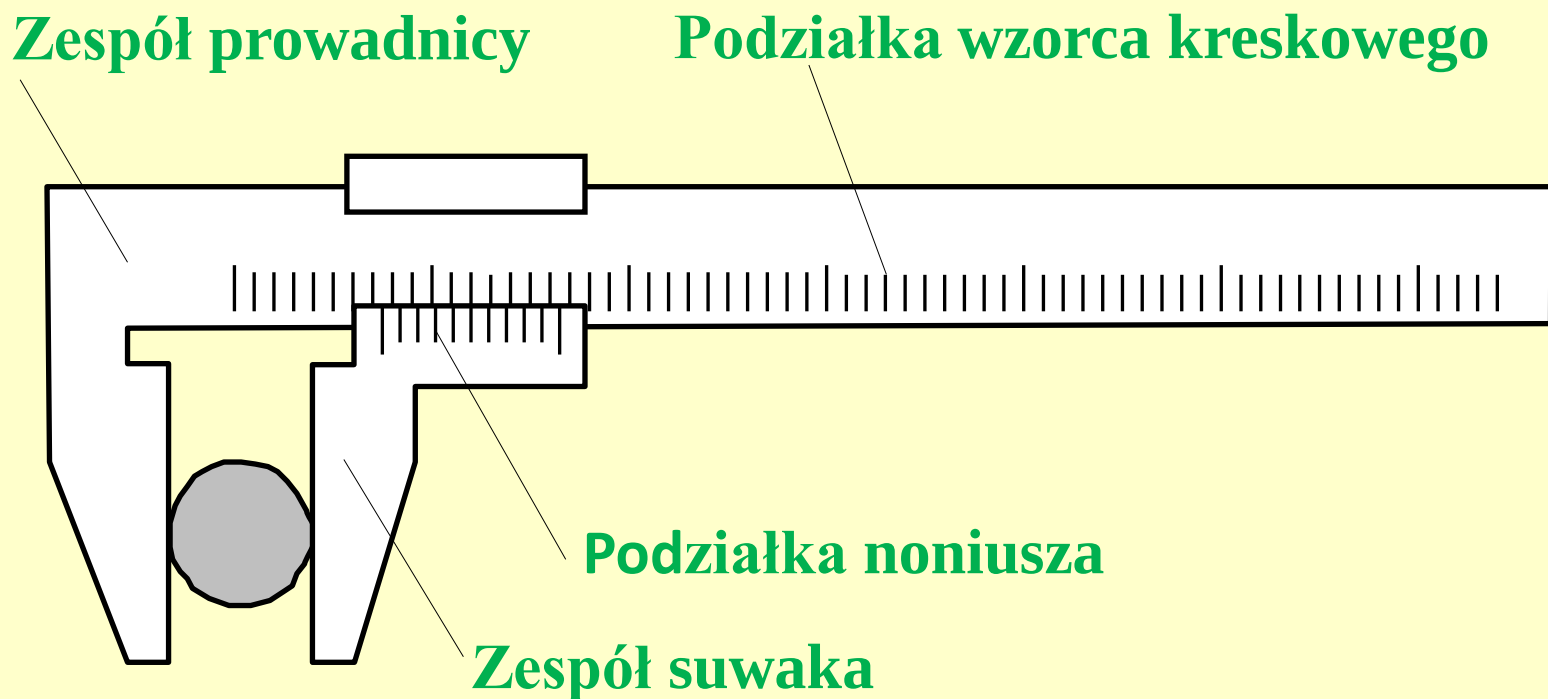
Przyrządy suwmiarkowe służą do bezpośredniego pomiaru wymiarów liniowych: zewnętrznych, wewnętrznych i mieszanych

Zalety:

- **prosta konstrukcja;**
- **łatwość obsługi;**
- **niezawodność działania;**
- **mała wrażliwość na zakłócenia zewnętrzne;**
- **stosunkowo niewysoka cena;**

Powszechnie stosowane zarówno w praktyce warsztatowej, jak również w laboratoriach pomiarowych

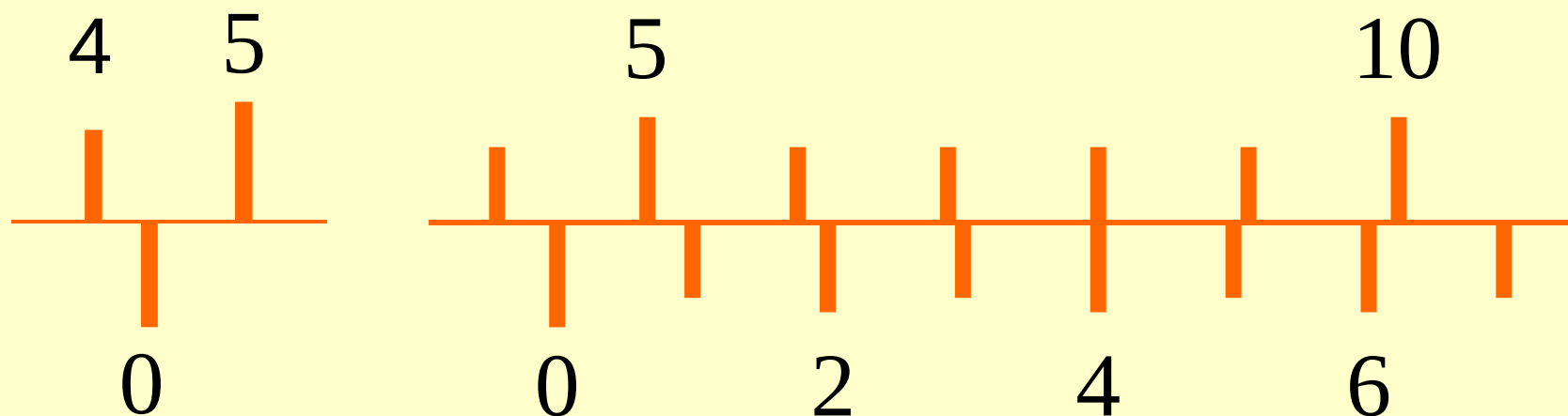
PRZYZRZĄDY SUWMIARKOWE – ZASADA DZIAŁANIA



Przesunięcie końcówki pomiarowej zmienia położenie kres noniusza względem kres podziałki głównej. Wzajemne usytuowanie tych kres stanowi podstawę odczytu

ZASADA DZIAŁANIA NONIUSZA

Noniusz umożliwia wielokrotny ($10\div 20\times$) wzrost rozdzielczości odczytu. Wzrost ten wynika z większej predyspozycji wzroku ludzkiego do stwierdzania stanu koincydencji kres niż do podziału działki elementarnej na części (interpolacji).



PROJEKTOWANIE NONIUSZY

Parametry związane z noniuszem:

a_p - długość działki elem. podziałki głównej;

a_n - długość działki noniusza;

n - liczba działek noniusza;

Δ - zdolność rozdzielcza noniusza;

M – moduł noniusza;

L_n - całkowita długość podziałki noniusza;

Zależności pomiędzy parametrami:

$$n = a_p / \Delta$$

$$a_n = M \cdot a_p - \Delta$$

$$L_n = n \cdot a_n = a_p (M \cdot n - 1)$$

MODUŁ NONIUSZA

Posługiwanie się noniusem nie jest wygodne, wymaga dużego natężenia uwagi, przy większej liczbie pomiarów powoduje znaczne zmęczenie wzroku.

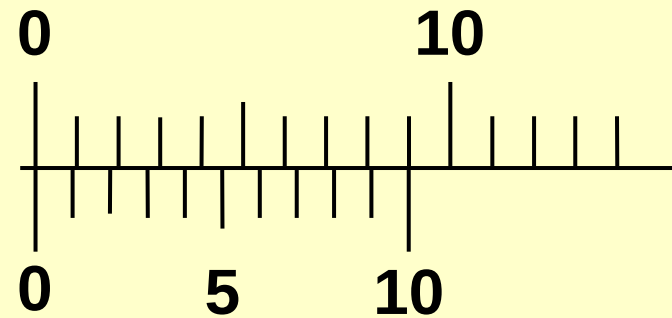
Wygodę odczytu można nieco poprawić poprzez rozsuniecie kres noniusza.

Parametrem regulującym odległość sąsiednich kres noniusza, a więc i jego długość, jest tzw. moduł.

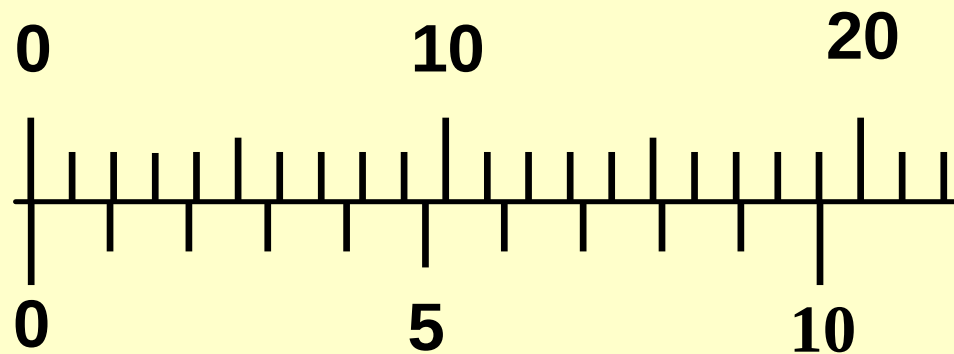
Moduł może przyjmować tylko wartości liczb naturalnych. W praktyce najczęściej: $M = 1$ i $M = 2$.

PRZYKŁADY NONIUSZY

a) $\Delta = 0,1$; $M = 1$

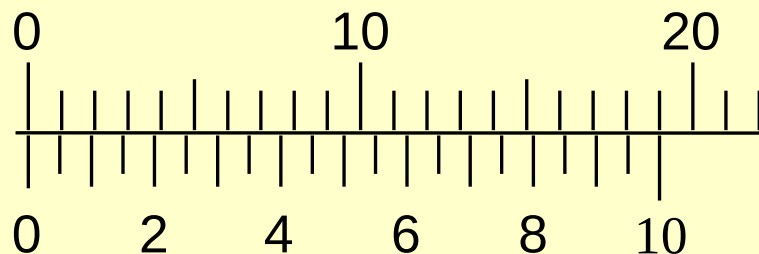


b) $\Delta = 0,1$; $M = 2$

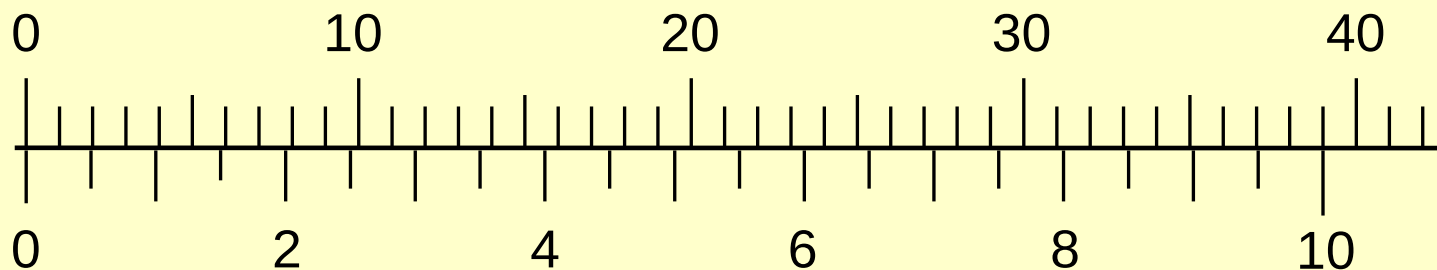


PRZYKŁADY NONIUSZY

a) $\Delta = 0,05$; $M = 1$

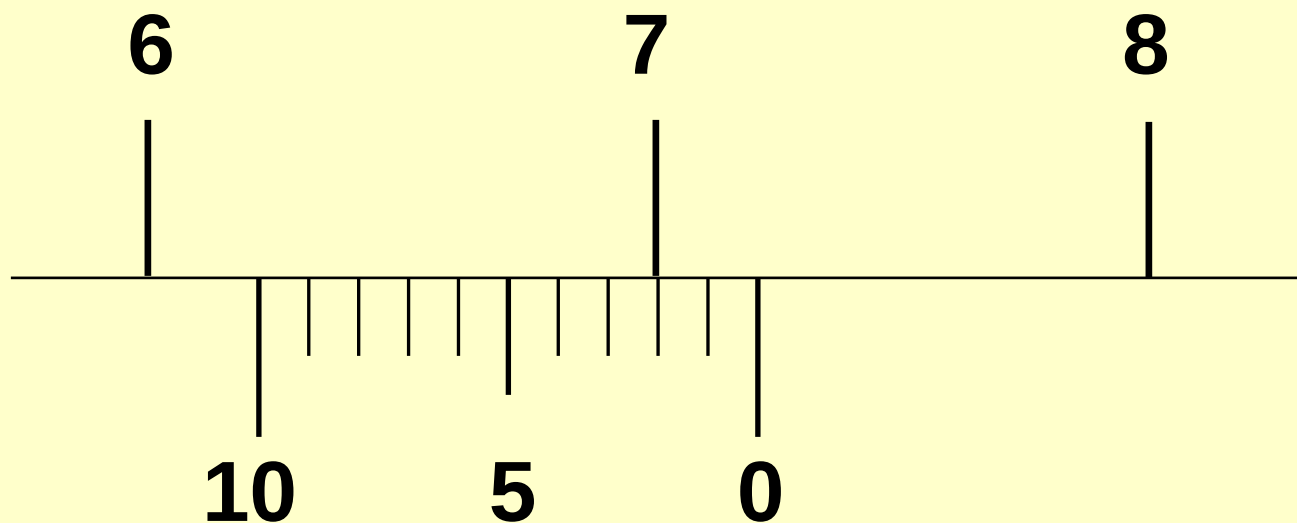


b) $\Delta = 0,05$; $M = 2$



PRZYKŁADY NONIUSZY

$\Delta = 0,1$; $M = 0$



Odczyt: 7,2

ODCZYT WSKAZANIA NONIUSZA

Wskazanie noniusza suwmiarkowego odczytuje się w dwu etapach:

- w pierwszym etapie ustala się liczbę całkowitych milimetrów**
- w drugim etapie ustala się wartość ułamkowej części milimetra.**

Liczbę całkowitych milimetrów wskazuje na podziałce głównej kresa zerowa noniusza.

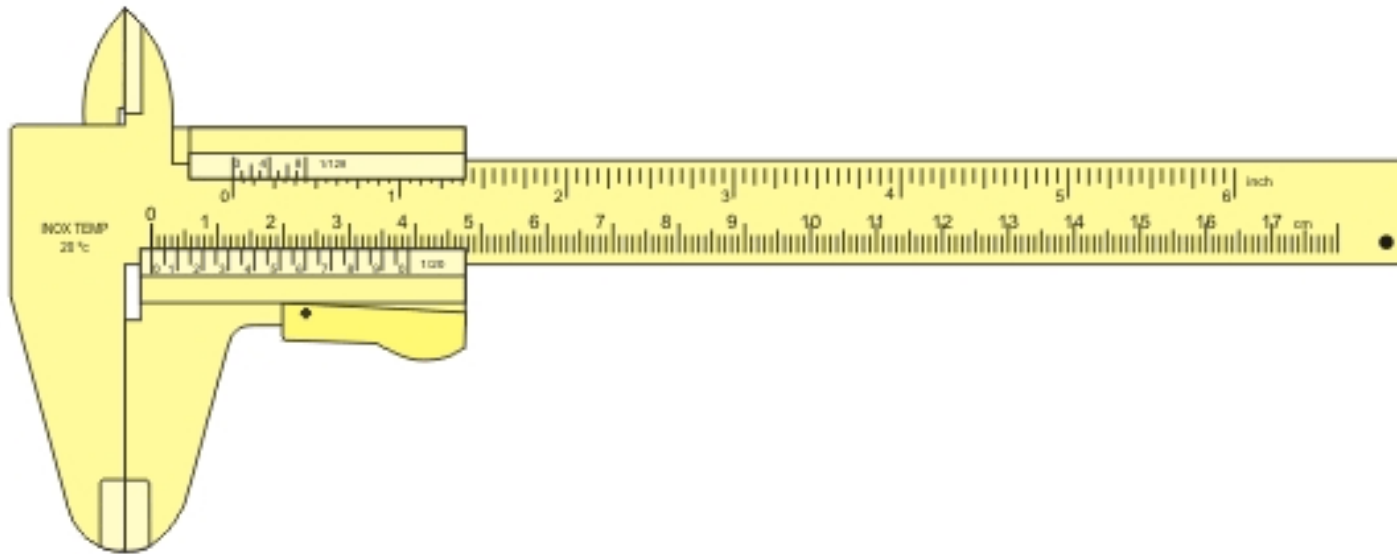
Informację o wartości części ułamkowej zawiera numer tej kresy noniusza, która jest najbliższa stanu koincydencji.

ODCZYT WSKAZANIA NONIUSZA

Odczytywana przy pomocy noniusza ułamkowa część milimetra jest równa iloczynowi zdolności rozdzielczej noniusza Δ i numeru j tej kresy noniusza, która jest najbliższej stanu koincydencji (kresy noniusza numeruje się: 0, 1, 2,..)

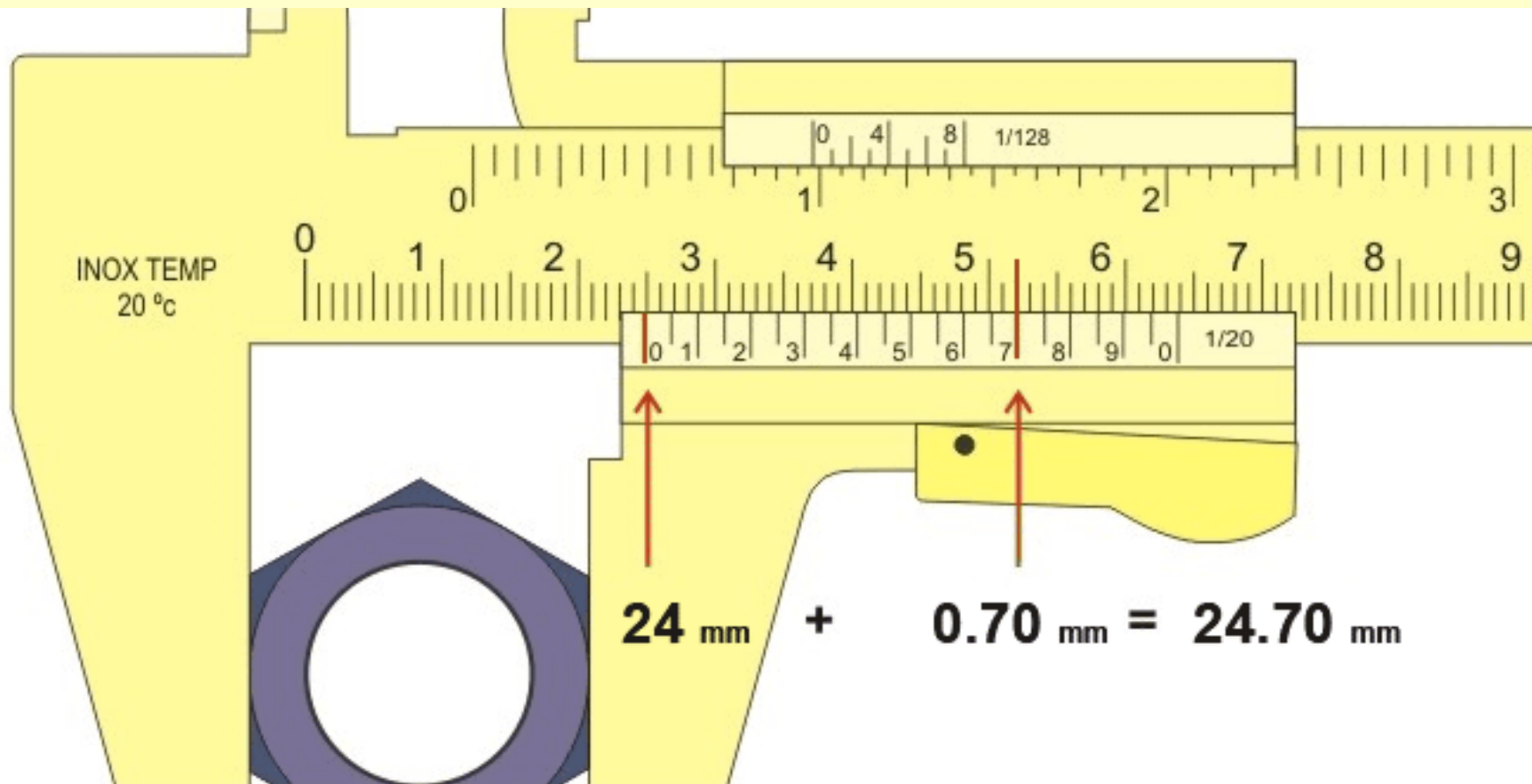
Aby wyeliminować przeliczanie wytwórcy przyrządów suwmiarkowych oznaczają wybrane kresy noniusza wartością tego iloczynu.

ODCZYT WSKAZANIA PRZYRZĄDU



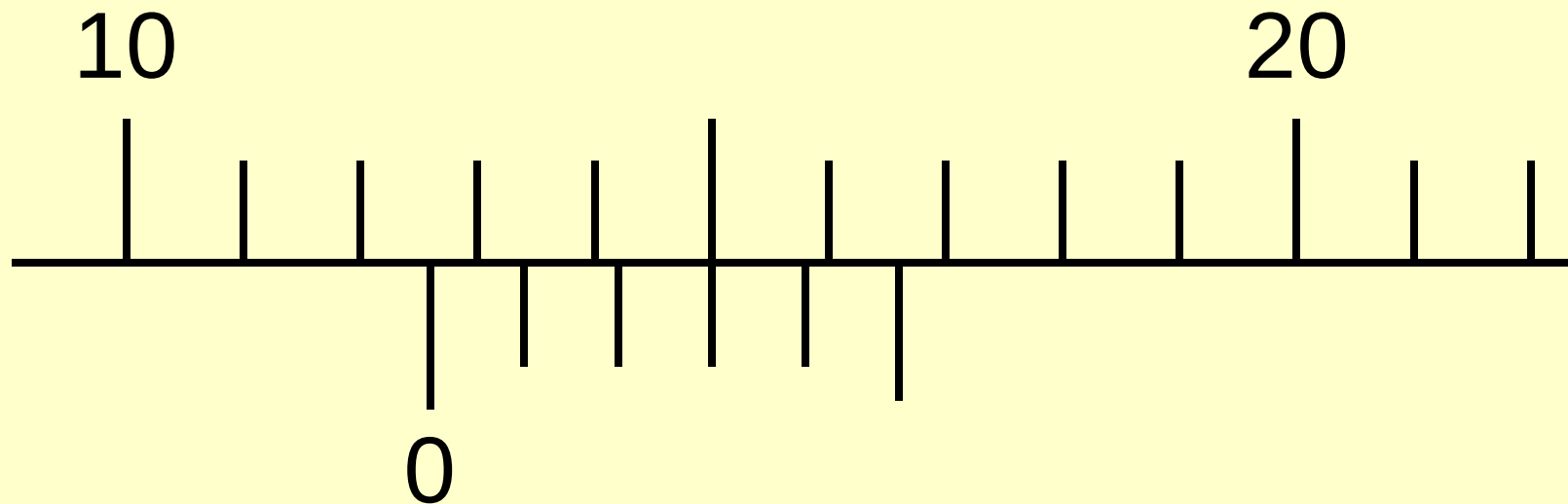
http://it.wikipedia.org/wiki/File:Using_the_caliper_correct.gif

ODCZYT WSKAZANIA PRZYRZĄDU c.d.



PRZYKŁADOWE ODCZYT

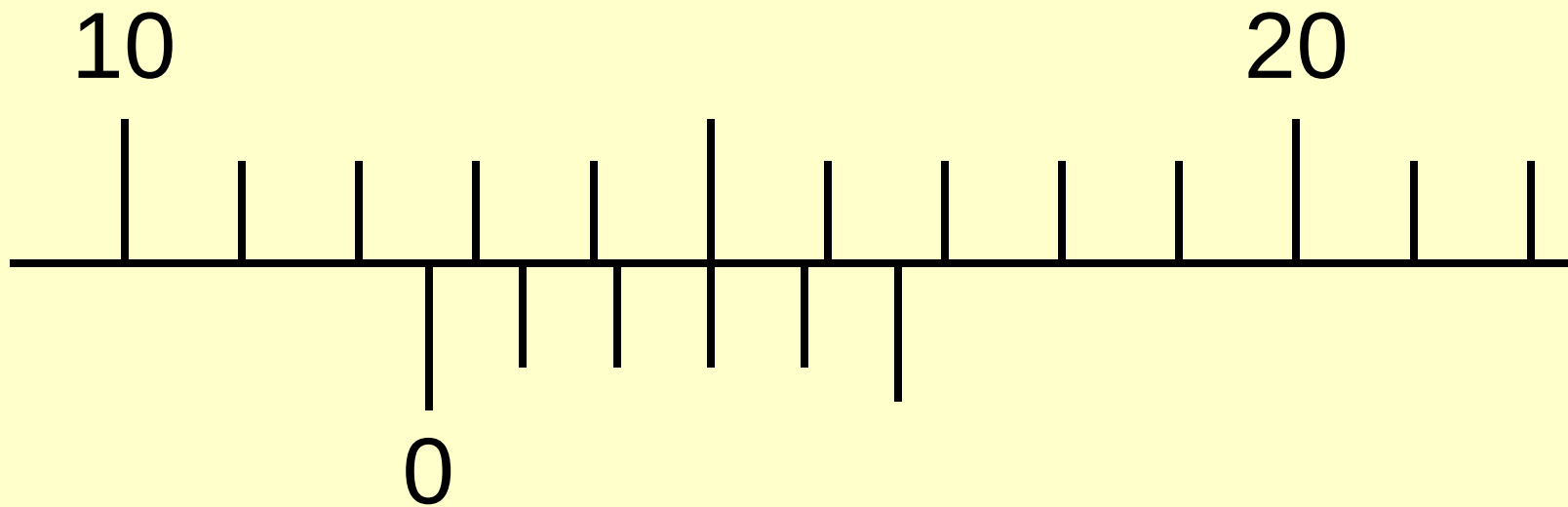
A. WYMIAR LINIOWY



ODCZYT: ???

PRZYKŁADOWE ODCZYT

A. WYMIAR LINIOWY

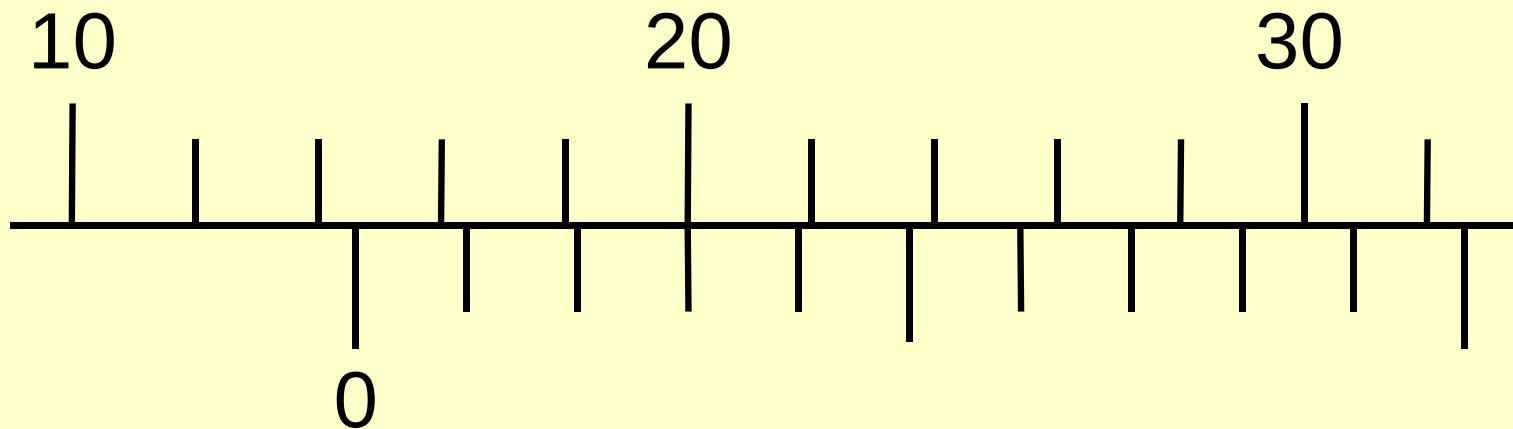


ODCZYT: **12,6 mm**



PRZYKŁADOWE ODCZYT

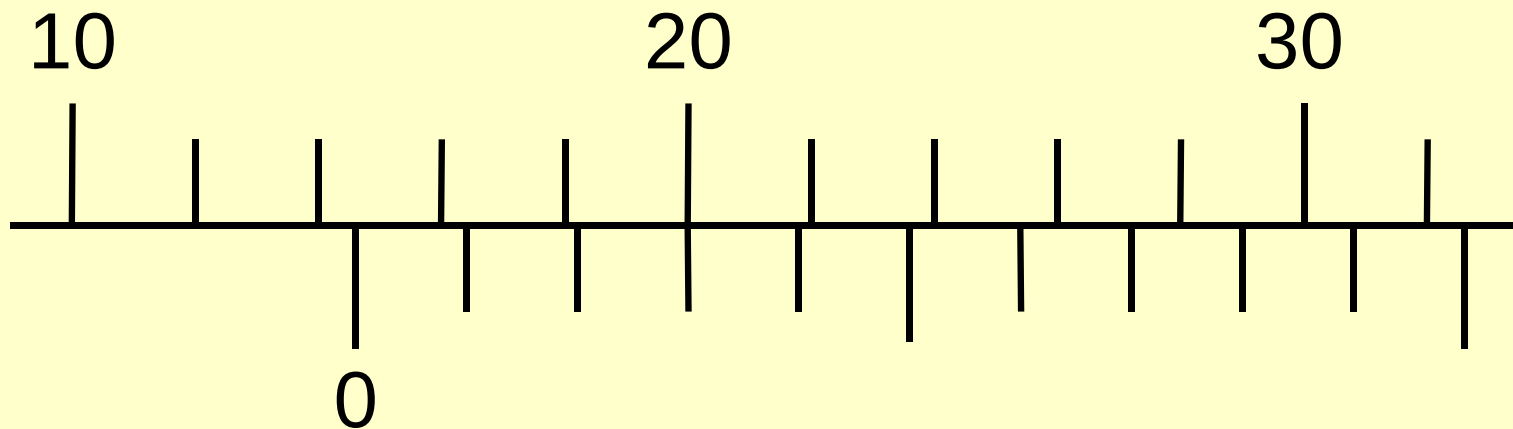
B. WYMIAR LINIOWY



ODCZYT: ???

PRZYKŁADOWE ODCZYT

B. WYMIAR LINIOWY

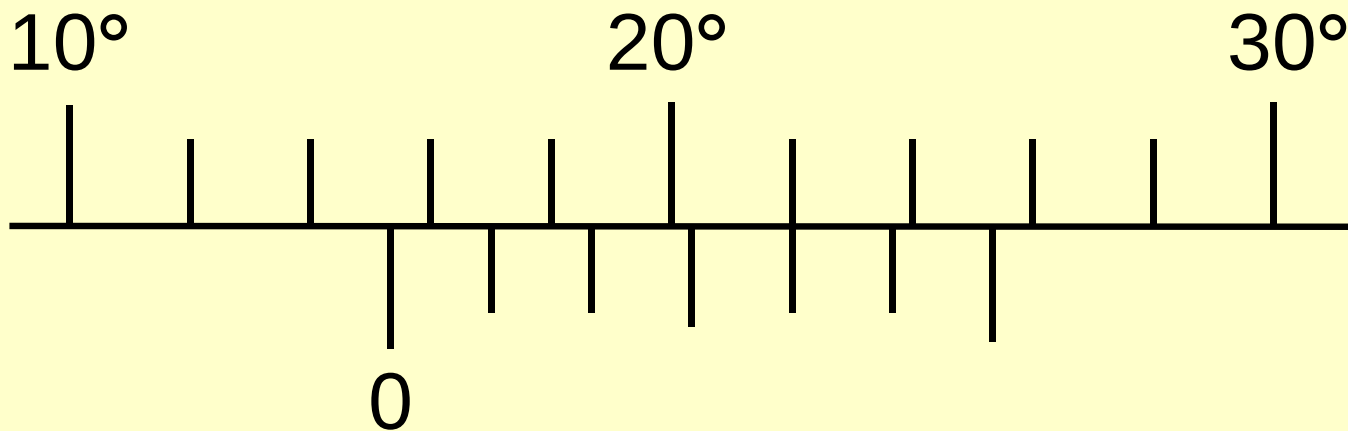


ODCZYT: **14,6 mm**



PRZYKŁADOWE ODCZYT

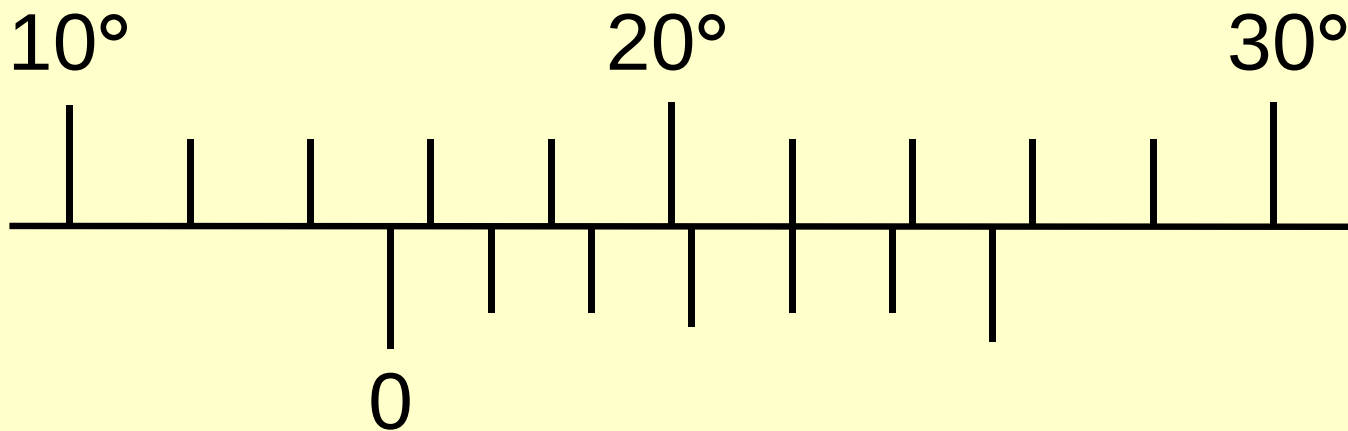
C. WYMIAR KĄTOWY



ODCZYT: ???

PRZYKŁADOWE ODCZYT

C. WYMIAR KĄTOWY



ODCZYT: **$15^\circ 20'$**



PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE – PRZEZNACZENIE I PODZIAŁ

Przyrządy suwmiarkowe służą do bezpośredniego pomiaru wymiarów liniowych: zewnętrznych, wewnętrznych i mieszanych.

Przyrządy suwmiarkowe dzielą się na:

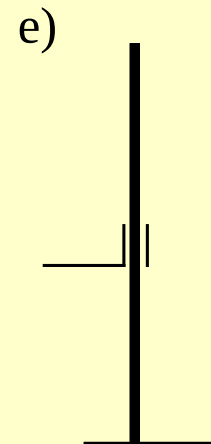
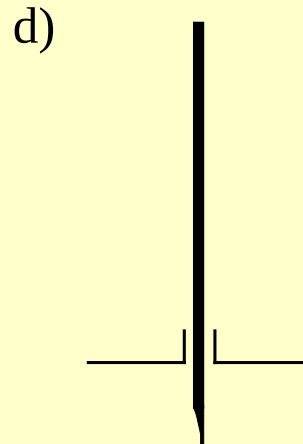
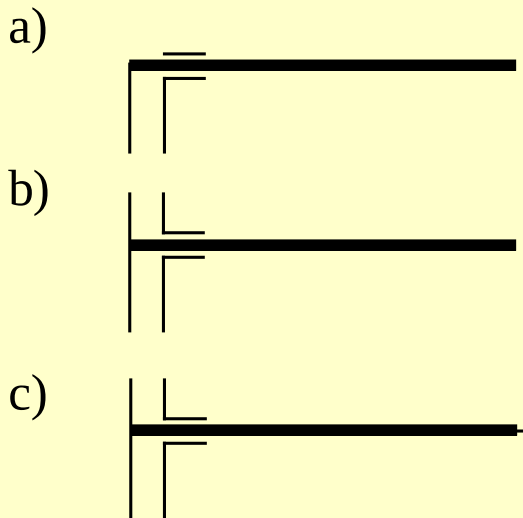
- przyrządy suwmiarkowe ogólnego przeznaczenia**
- przyrządy suwmiarkowe specjalizowane i**
- przyrządy suwmiarkowe specjalne**

z tym, że granice tego podziału nie są zbyt ostre.

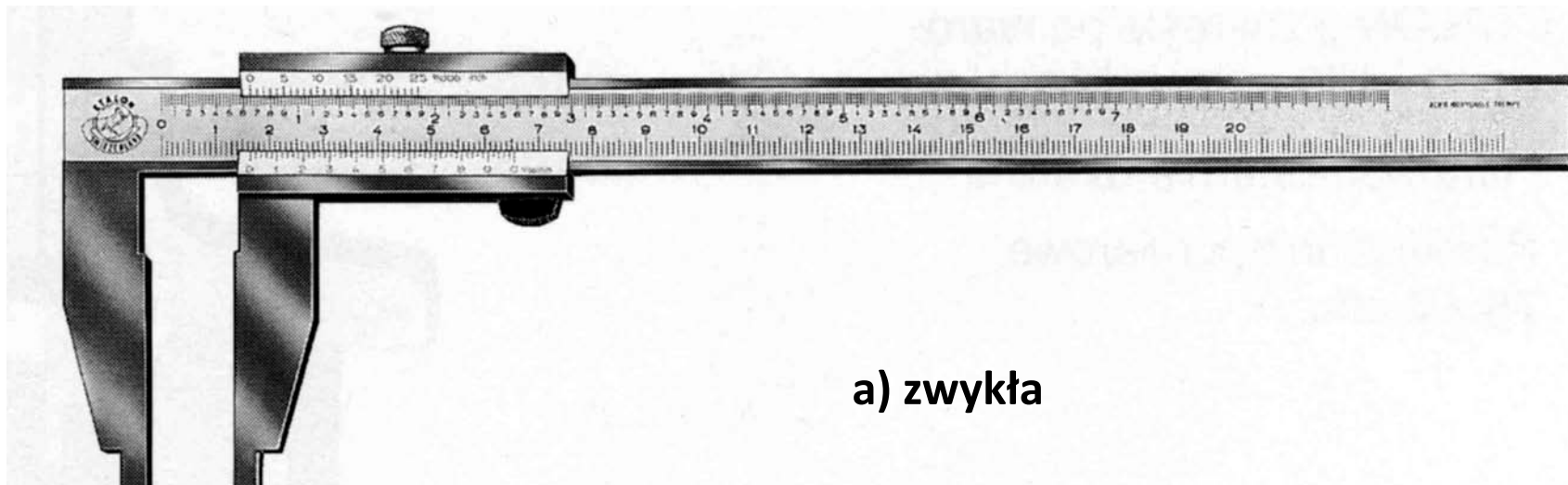
PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE OGÓLNEGO PRZEZNACZENIA

Przyrządy suwmiarkowe ogólnego przeznaczenia dzielą się na:

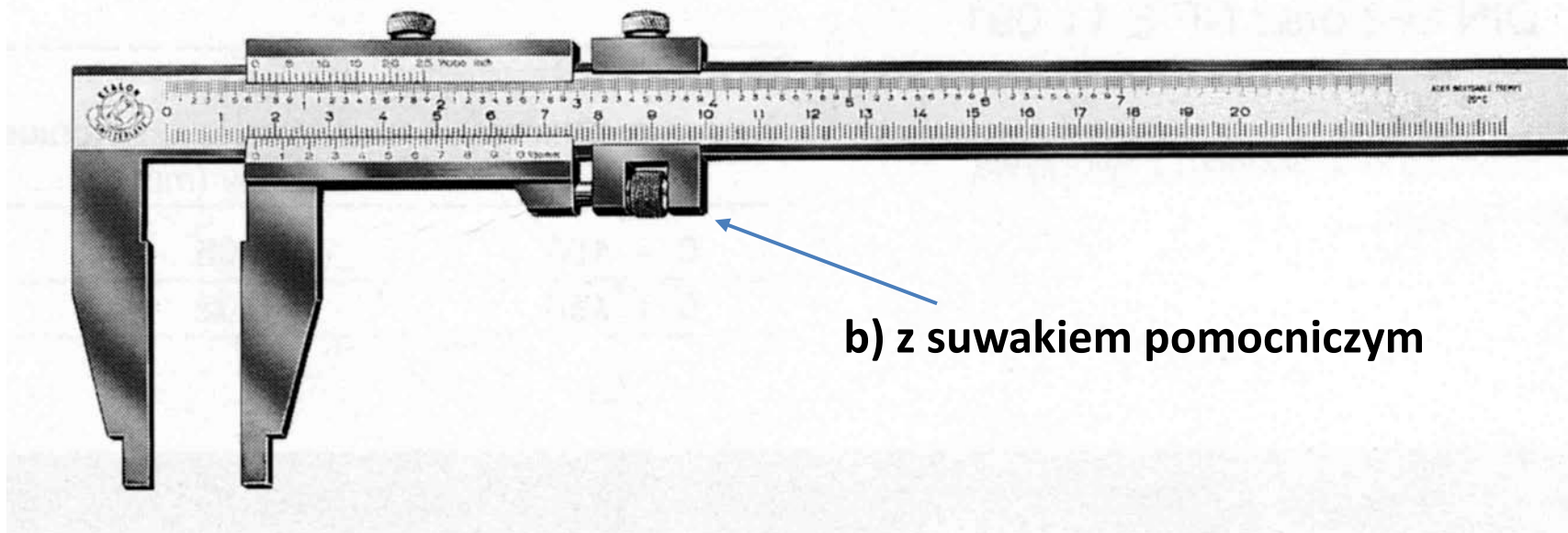
- suwmiarki (jednostronne, dwustronne i uniwersalne)
- głębokościomierze suwmiarkowe;
- wysokościomierze suwmiarkowe;



SUWMIARKI JEDNOSTRONNE

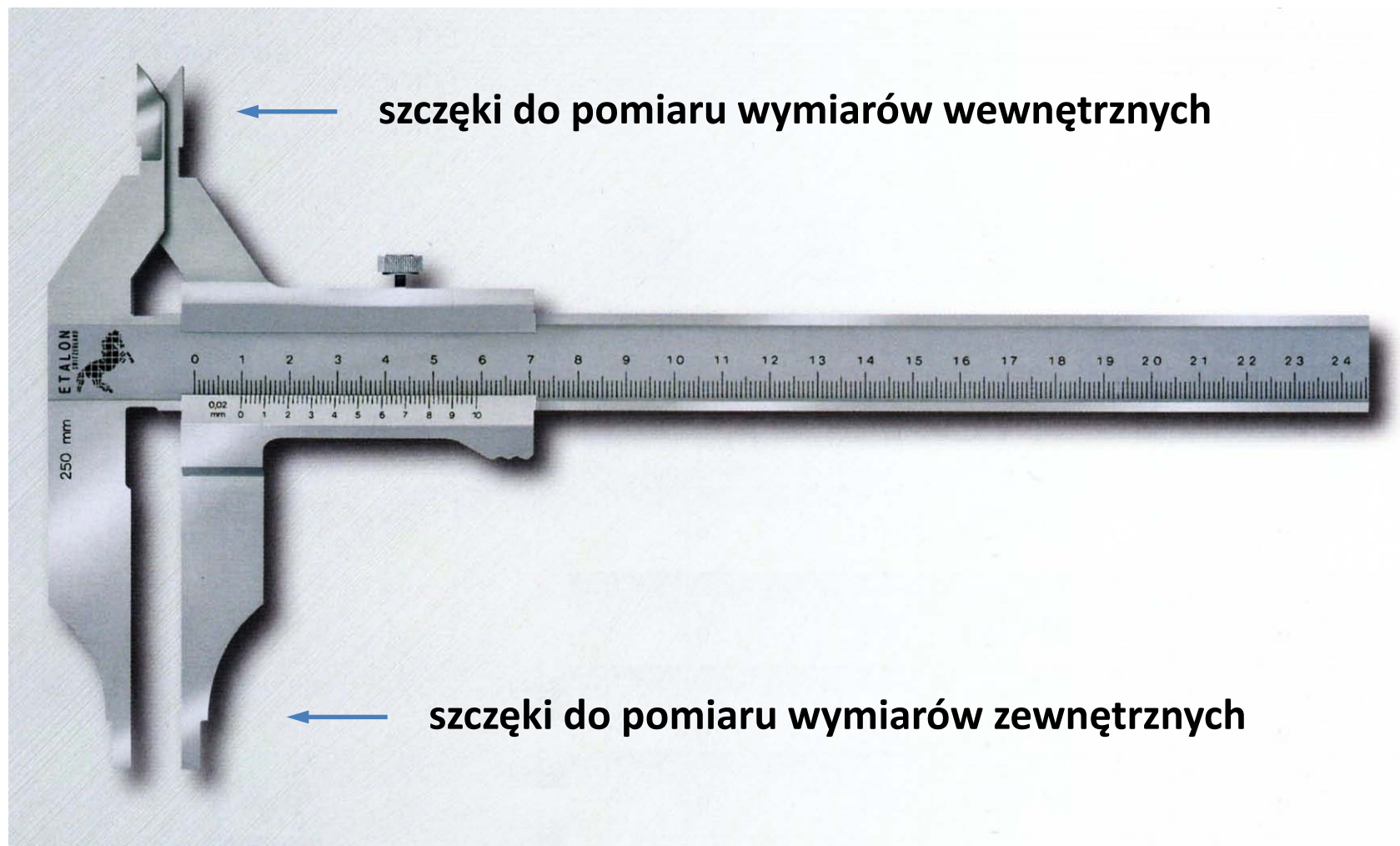


a) zwykła

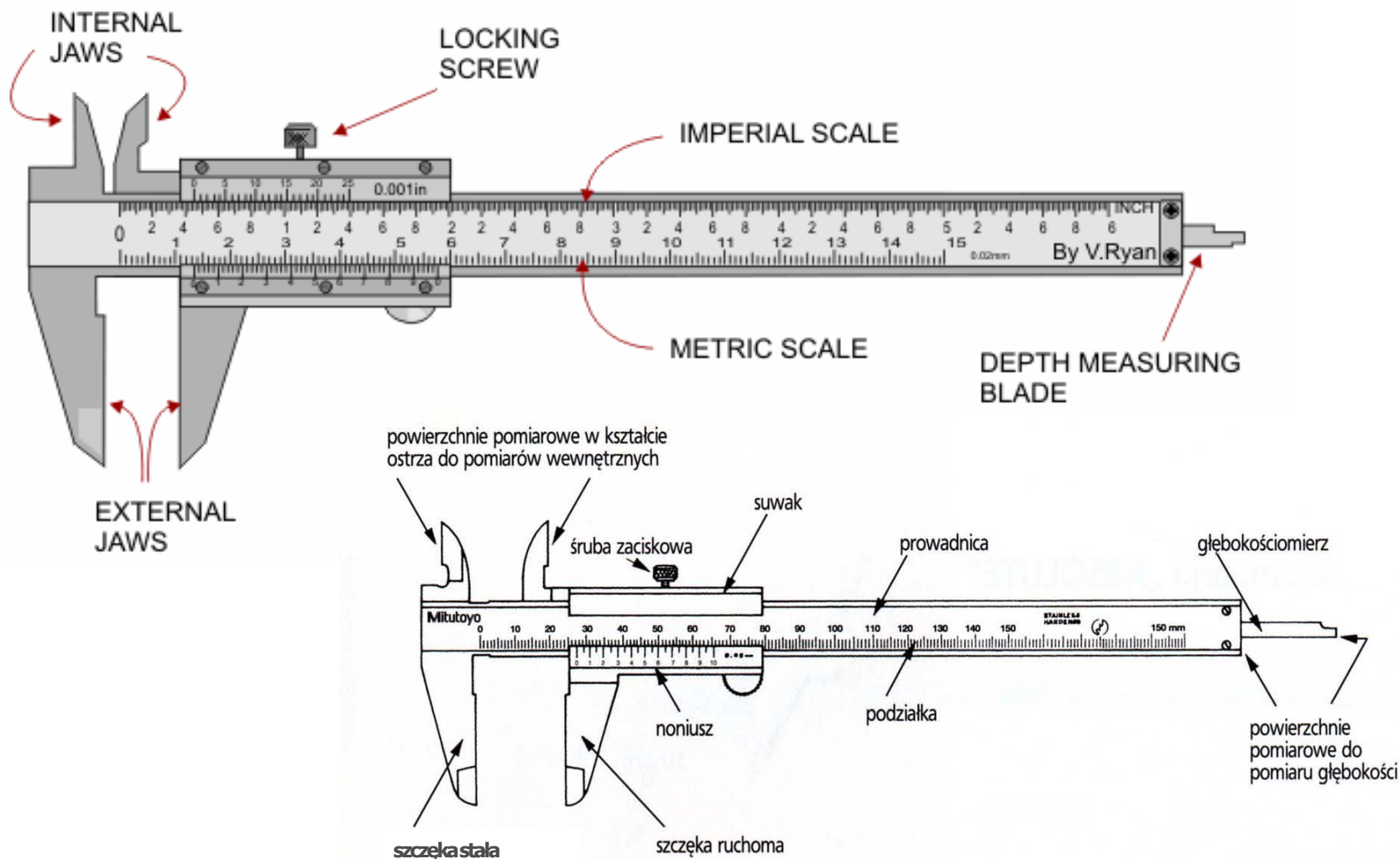


b) z suwakiem pomocniczym

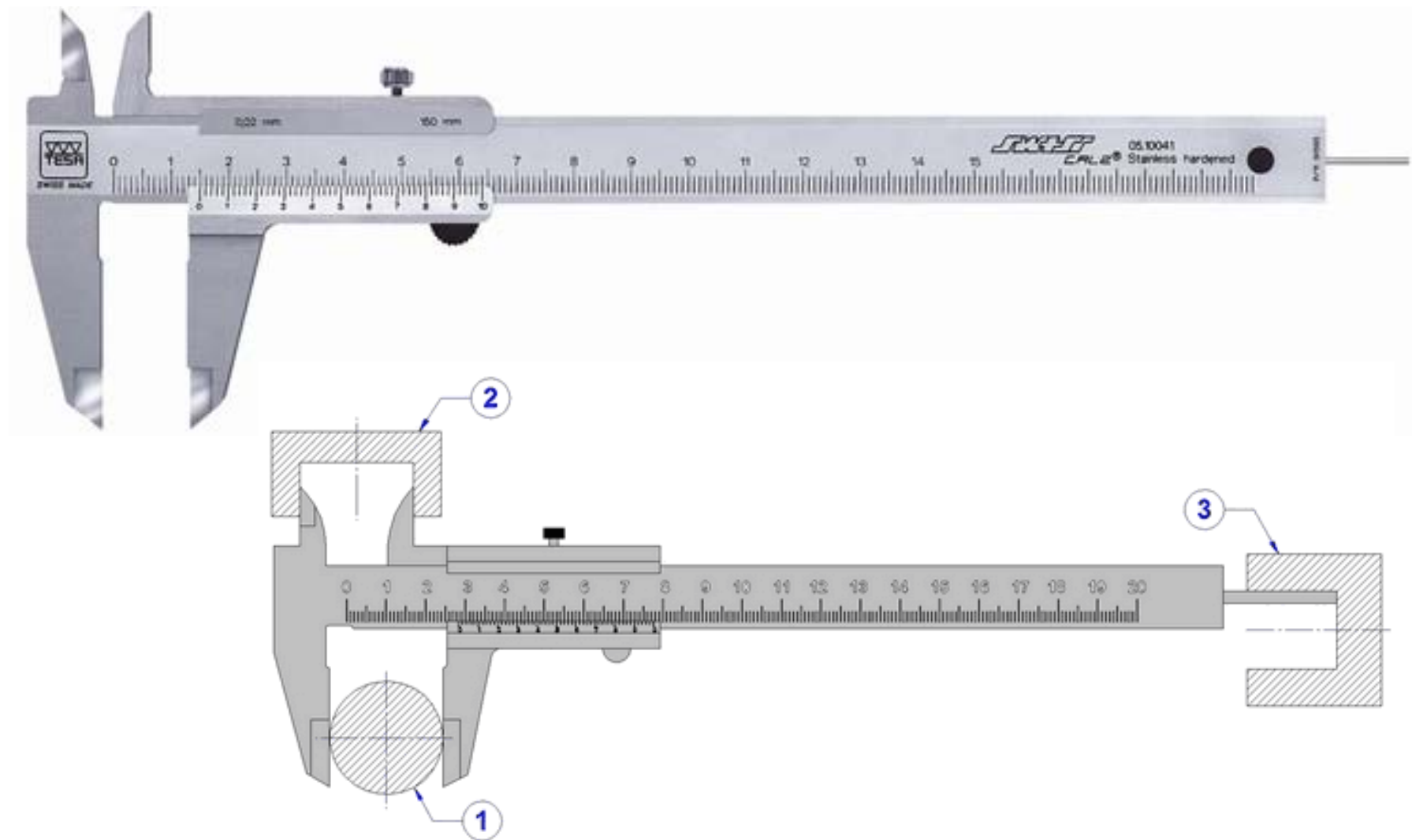
SUWMIARKA DWUSTRONNA



SUWMIARKA UNIWERSALNA

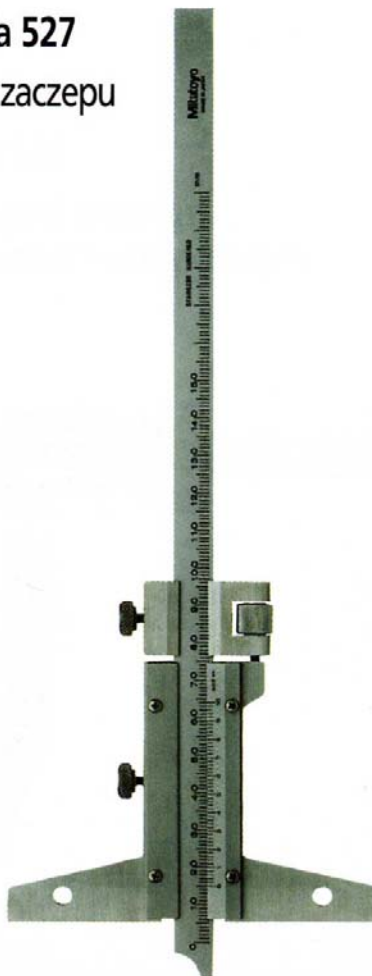


SUWMIARKA UNIWERSALNA

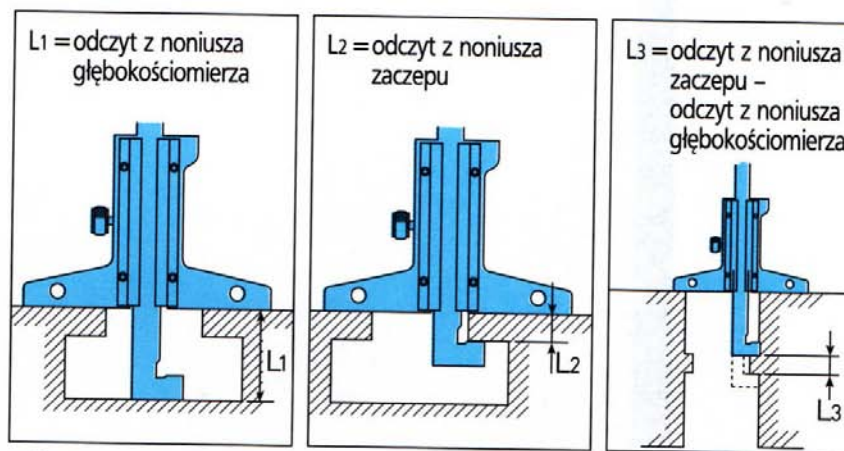


GŁĘBOKOŚCIOMIERZE SUWMIARKOWE

Seria 527
bez zaczepu



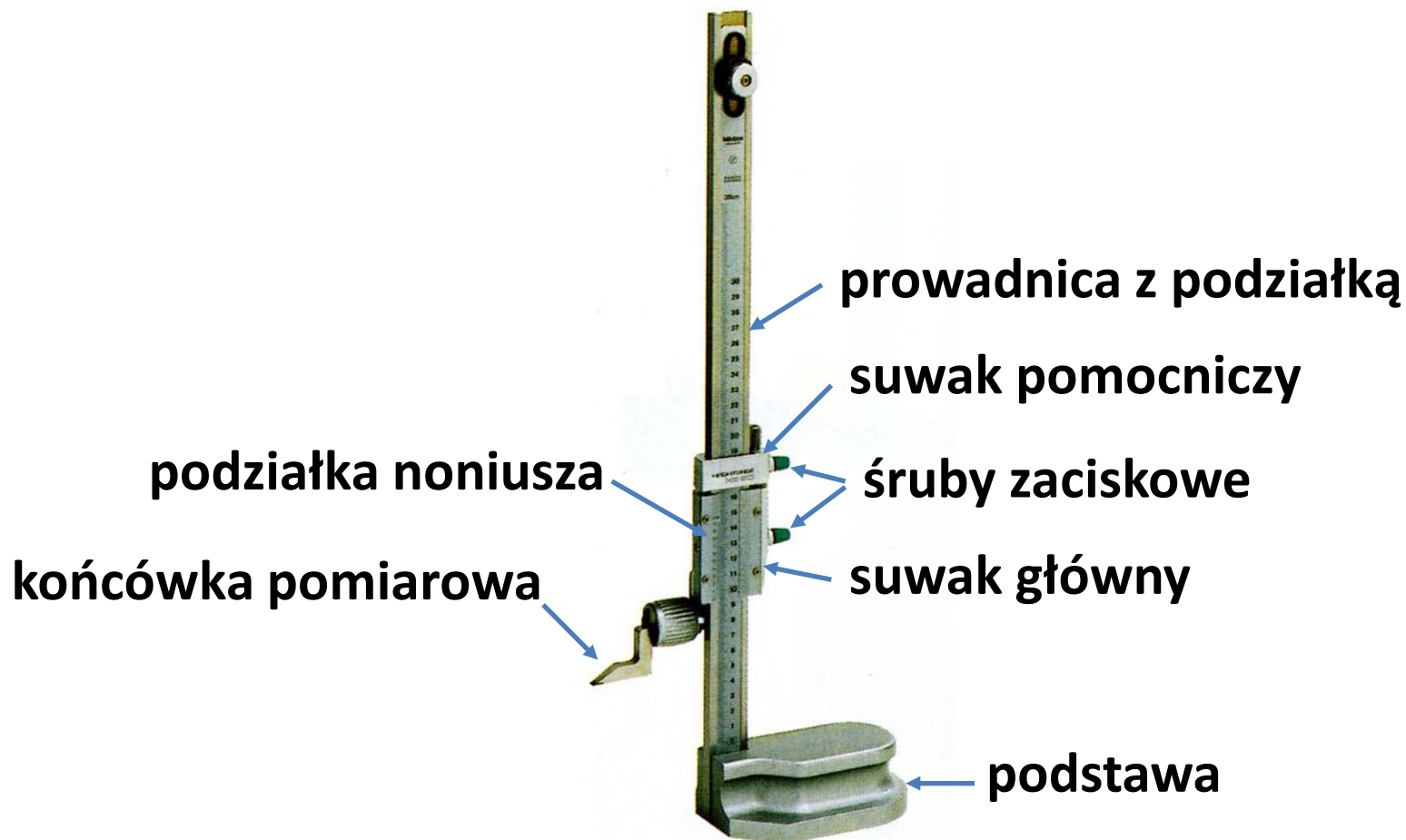
z zaczepem



odczyt z noniusza zaczepu i g\u0142\u0119bok\u00f3ściomierza

527-401

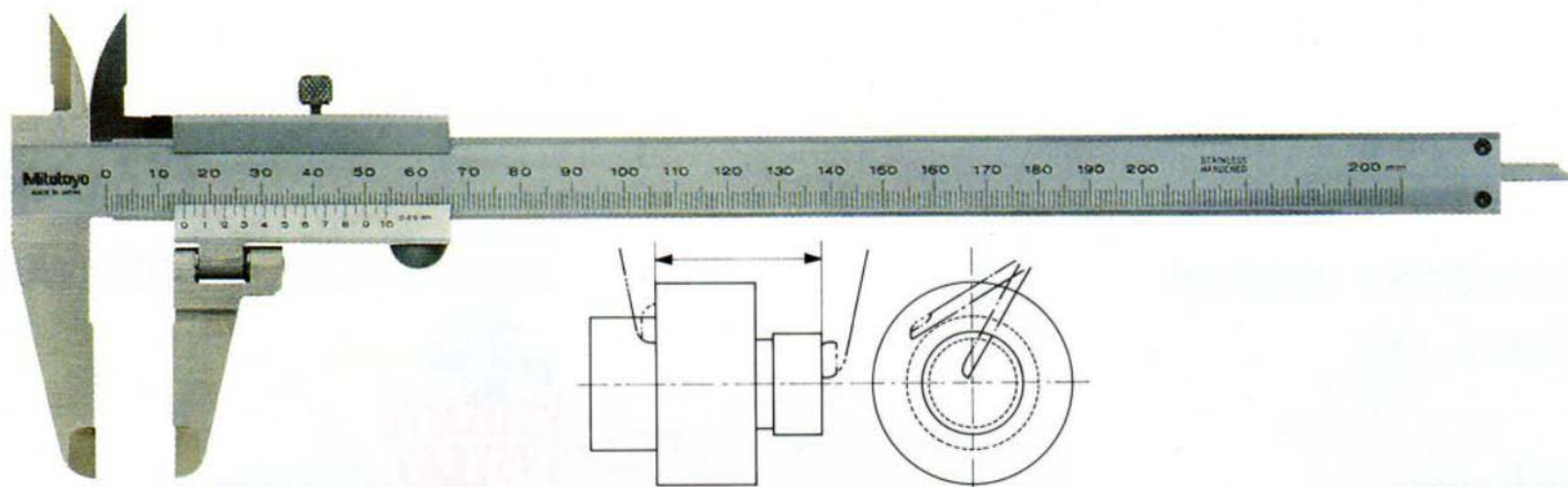
WYSOKOŚCIOMIERZ SUWMIARKOWY



PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE - SPECJALIZACJA

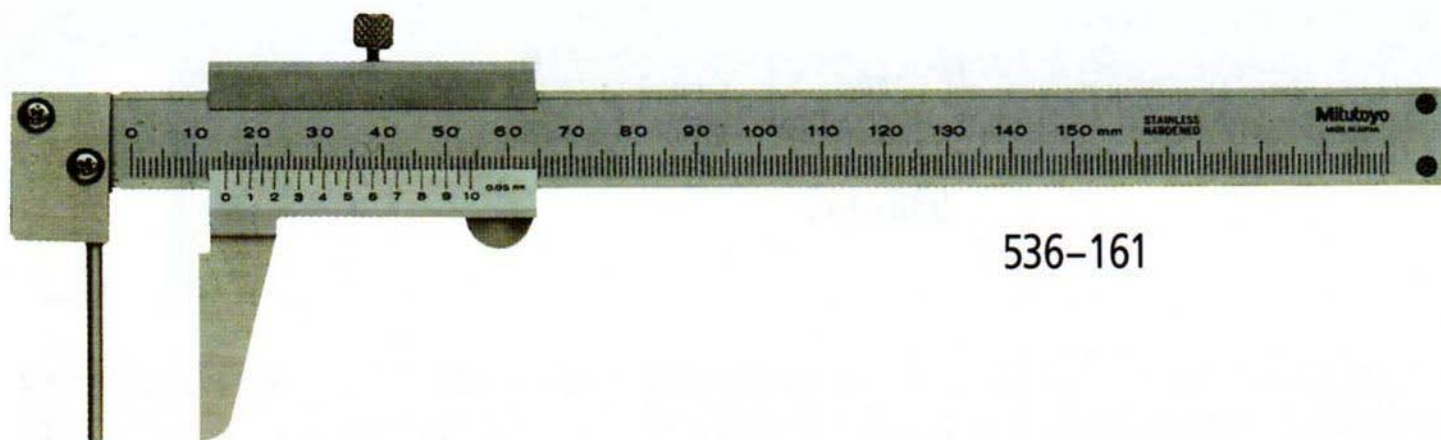
- ◆ Z różnych powodów, w szczególności z powodu trudności z pobraniem mierzonego wymiaru, wykonanie pomiarów za pomocą przyrządów suwmiarkowych ogólnego przeznaczenia nie zawsze jest możliwe.
- ◆ W przypadkach takich stosuje się przyrządy o odpowiednio zmodyfikowanej konstrukcji (np. szczękach pomiarowych dostosowanych do specyfiki pewnego określonego podzbioru mierzonych kształtów).
- ◆ Specjalizacja przyrządów powoduje spadek ich uniwersalności. W przypadku, gdy spadek ten jest niewielki mówimy o przyrządach suwmiarkowych specjalizowanych, natomiast w przypadku znacznej utraty uniwersalności - o przyrządach suwmiarkowych specjalnych.

PRZYKŁAD SUWMIARKI SPECJALIZOWANEJ



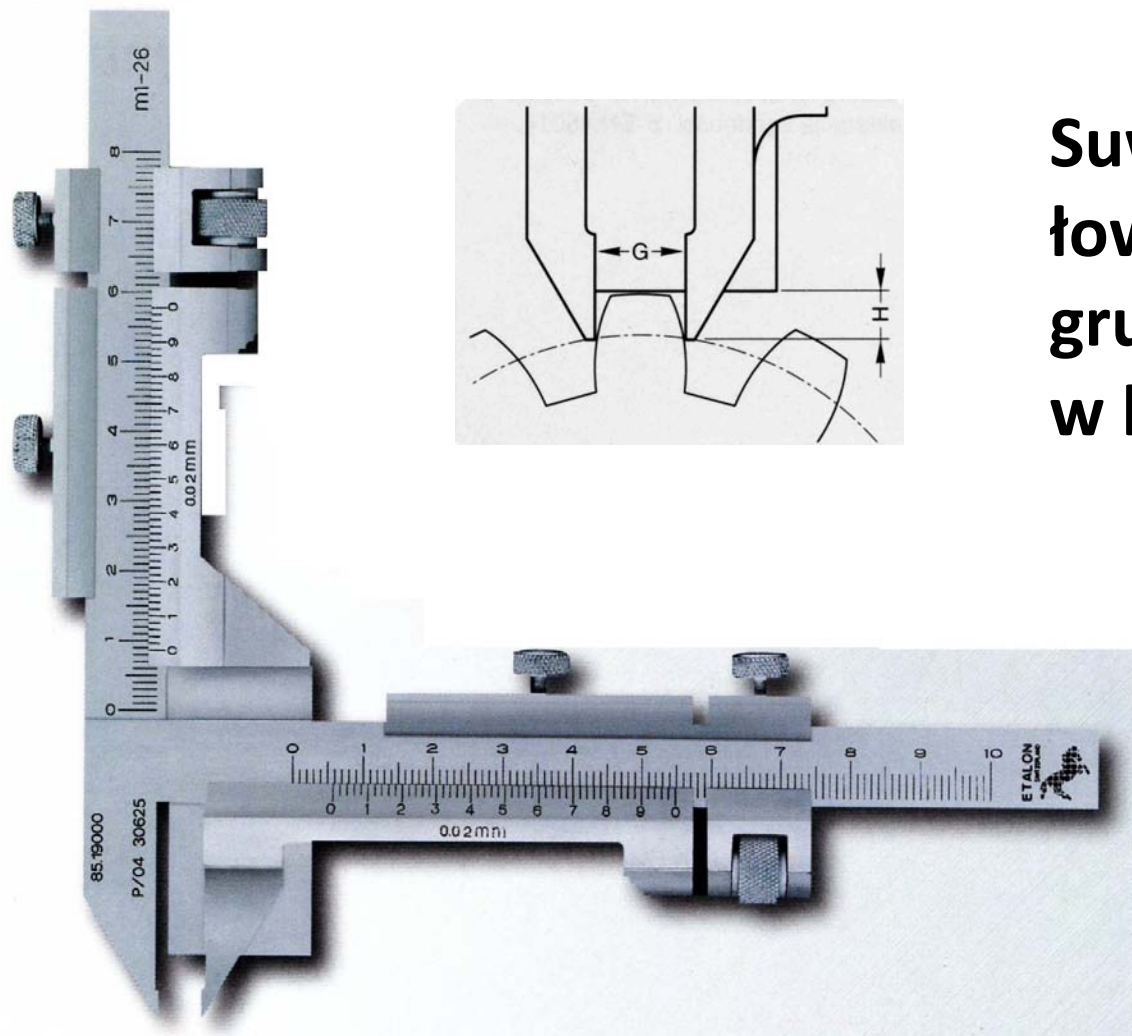
Suwmiarka z uchylną szczęką

PRZYKŁAD SUWMIARKI SPECJALNEJ



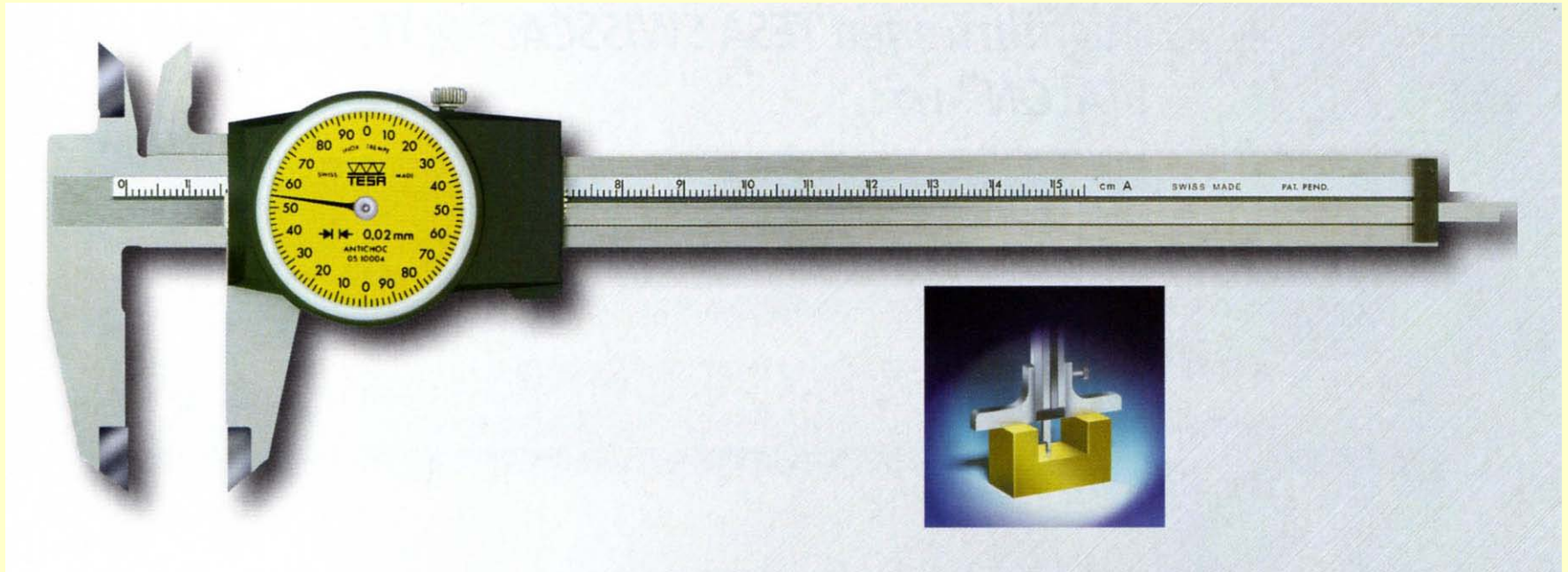
Suwmiarka do pomiaru grubości ścianek rur

PRZYKŁAD SUWMIARKI SPECJALNEJ



Suwmiarka modułowa do pomiaru grubości zębów w kołach zębatych

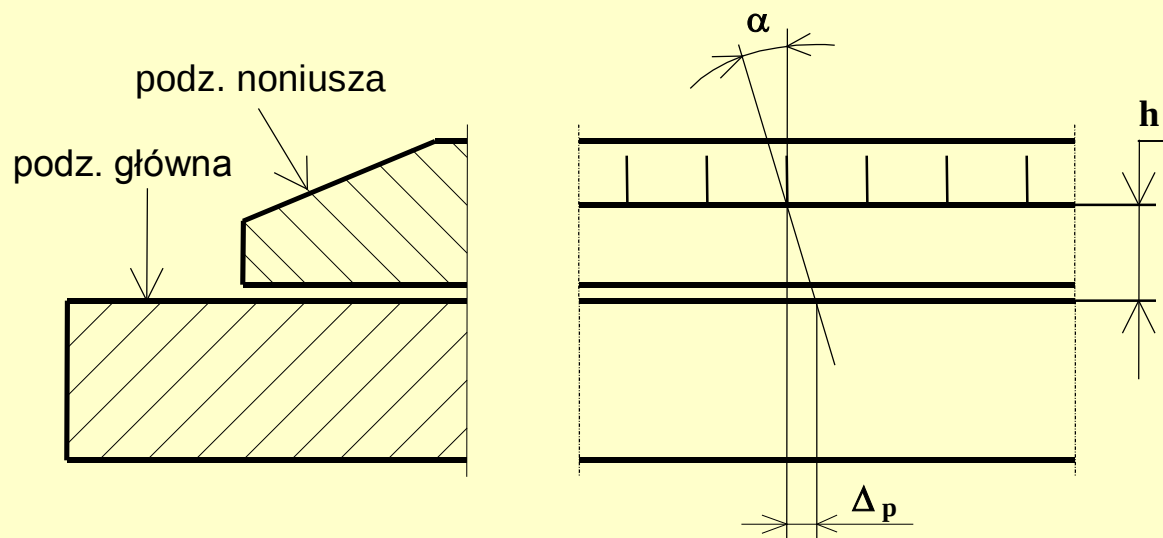
SUWMIARKA Z CZUJNIKIEM



Ponieważ posługiwanie się noniusem nie jest wygodne i szybko męczy wzrok, niektórzy wytwórcy zaopatrują swoje przyrządy w urządzenia odczytowe wskazówkowe

PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE – BŁĄD PARALAKSY

Jeżeli płaszczyzna podziałki noniusza nie pokrywa się z płaszczyzną podziałki głównej, to w przypadku obserwacji podziałek pod kątem różnym od 90° powstaje błąd paralaksy



$$\Delta_p = h \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

PRZYZRZĄDY SUWMIARKOWE – BŁĄD PARALAKSY

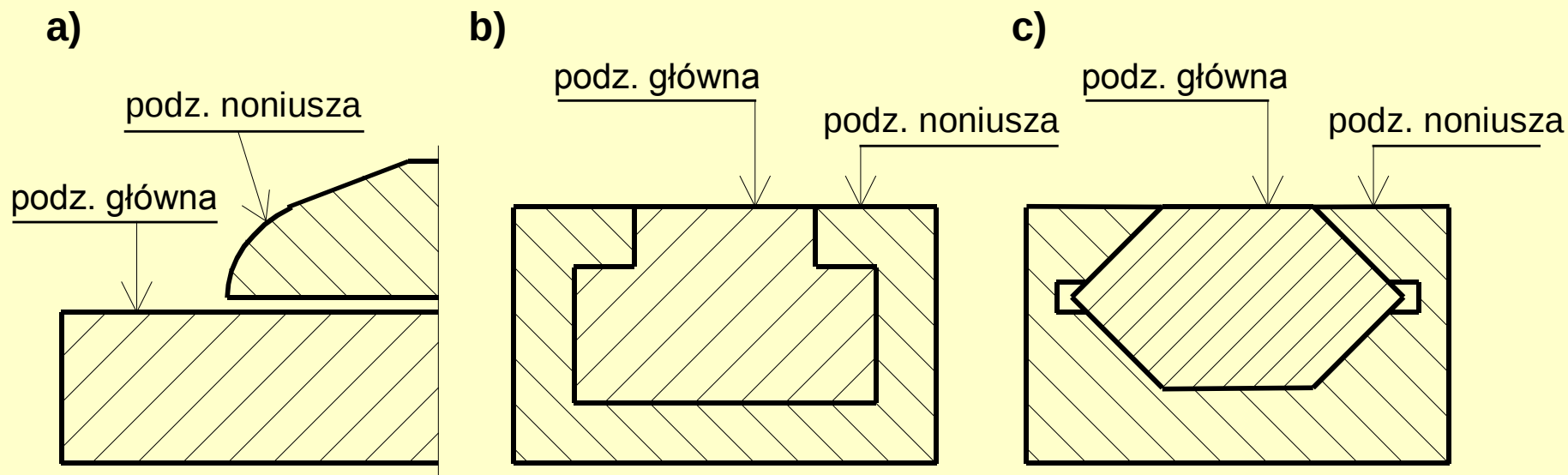
Przyjmując typową dla przyrządów suwmiarkowych wartość $h = 0.3 \text{ mm}$ i dopuszczając odchylenie kierunku obserwacji od prostopadłości $\alpha = 15^\circ$ uzyskujemy:

$$\Delta_p = 0.3 \text{ mm} \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 0.08 \text{ mm} = 80 \text{ }\mu\text{m}.$$

Wniosek:

Błąd paralaksy może stanowić bardzo istotny składnik błędu pomiaru.

PRZYZRZĄDY SUWMIARKOWE BEZPARALAKSOWE



rozwiązania konstrukcyjne kompensujące błąd paralaksy częściowo (a) lub całkowicie (b,c)

PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE - MATERIAŁY

Przyrządy suwmiarkowe wykonuje się ze stali węglowej narzędziowej lub stali antykorozyjnej. W pierwszym przypadku twardość powierzchni pomiarowych winna wynosić minimum 700 HV (ok. 59 HRC), w drugim co najmniej 550 HV (ok. 52 HRC).

W celu zwiększenia odporności powierzchni pomiarowych na zużycie stosuje się powłoki ochronne lub nakładki z węglików spiekanych

PRZYRZĄDY SUWMIARKOWE -DOKŁADNOŚĆ

Dokładność przyrządów suwmiarkowych ocenia się przy pomocy płytek wzorcowych długości.

Błąd przyrządu jest równy różnicy pomiędzy jego wskazaniem a długością użytej do sprawdzania płytki.

Wg PN dopuszczalne błędy przyrządów suwmiarkowych dla niepewności pomiarowej $\pm 2s$ określa zależność:

$$\Delta = 50 + 0.1 \cdot L$$

gdzie:

Δ - dopuszczalna wartość błędu przyrządu w μm ;

L - wartość mierzonego wymiaru w mm;

PRZYZRZĄDY SUWMIARKOWE w PN

Szczegółowe informacje o wymaganiach dotyczących przyrządów suwmiarkowych zawierają normy:

PN-80/M-53130 Narzędzia pomiarowe – Przyrządy suwmiarkowe – Wymagania

PN-80/M-53130/A1:1996 j.w. Zmiana A1

PN-80/M-53130/Az2:2000 j.w. Zmiana Az2

PN-79/M-53131 Narzędzia pomiarowe -- Przyrządy suwmiarkowe

PRZYRZĄDY MIKROMETRYCZNE

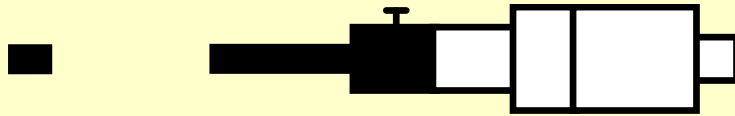
- Grupa przyrządów pomiarowych, w których rolę wzorca pełni dokładnie wykonana śruba. Skok tej śruby, zwanej mikrometryczną odtwarza znaną wartość długości, najczęściej 0,5 mm lub 1 mm.
- Przyrządy mikrometryczne służą do średniodokładnych pomiarów wymiarów liniowych – zewnętrznych, wewnętrznych i mieszanych
- Ze względu na przeznaczenie przyrządy mikrometryczne można podzielić na:
 - uniwersalne;
 - specjalne;

PRZYRZĄDY MIKROMETRYCZNE UNIWERSALNE

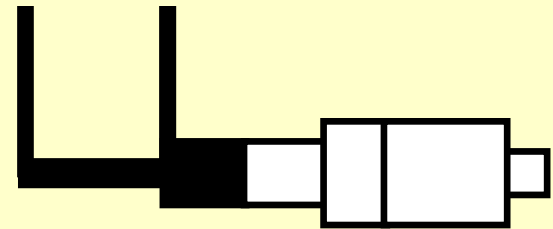
Przyrządy mikrometryczne ogólnego przeznaczenia (uniwersalne) można podzielić na:

- mikrometry do wymiarów zewnętrznych;
- mikrometry szczękowe (do wymiarów wewnętrznych?);
- średnicówki mikrometryczne:
 - dwustykowe;
 - trójstykowe;
- głębokościomierze mikrometryczne;
- głowice i wkładki mikrometryczne;

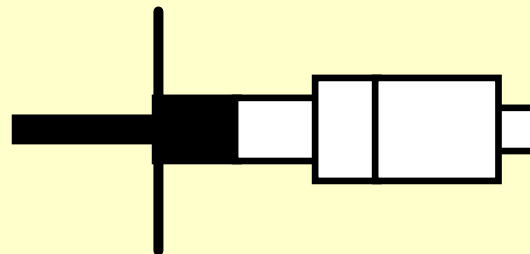
PRZYZRZĄDY MIKROMETRYCZNE UNIWERSALNE SCHEMATY



mikrometr do wymiarów zewnętrznych



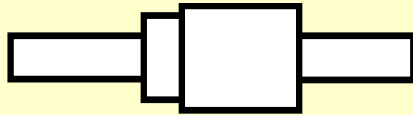
mikrometr szczękowy



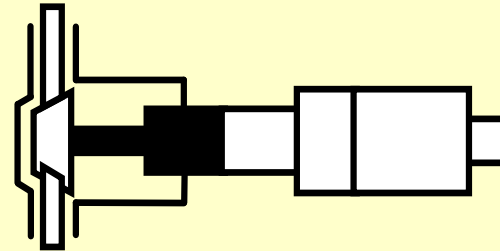
głębokościomierz mikrometryczny

PRZYZRZĄDY MIKROMETRYCZNE UNIWERSALNE

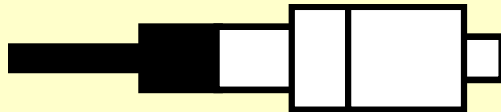
SCHEMATY



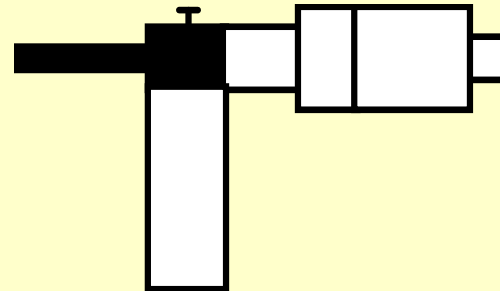
średnicówka dwustykowa



średnicówka trójstykowa

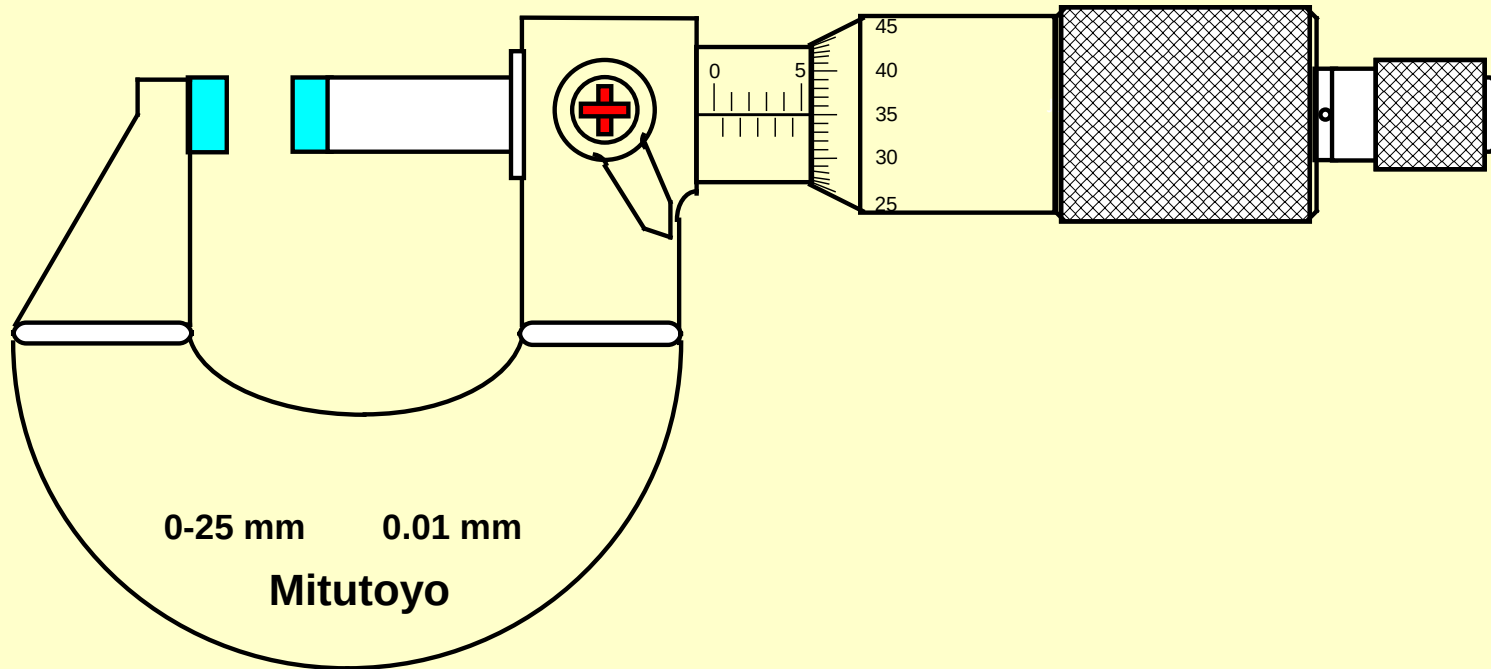


głowica mikrometryczna



wkładka mikrometryczna

MIKROMETR DO WYMIARÓW ZEWNĘTRZNYCH



MIKROMETR DO WYMIARÓW ZEWNĘTRZNYCH



Noniusz typu suwmiarkowego pozwala na podział działki elementarnej bębna o wartości 0,01 mm na pięć części, dzięki czemu zdolność rozdzielcza wynosi 0,002 mm

MIKROMETRY SZCZĘKOWE



Mikrometry do pomiaru wymiarów wewnętrznych produkcji firmy Mitutoyo o zakresach pomiarowych 5÷30 i 25÷50mm

ŚREDNICÓWKI DWUSTYKOWE



**Przyrządy mikrometryczne do pomiaru wymiarów wewnętrznych
produkcji firmy Mitutoyo**

ŚREDNICÓWKI TRÓJSTYKOWE



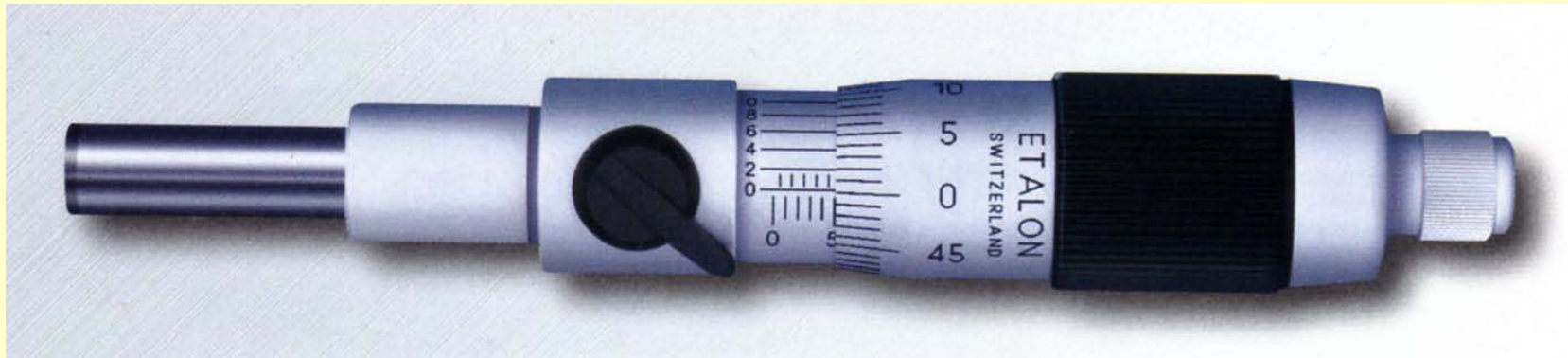
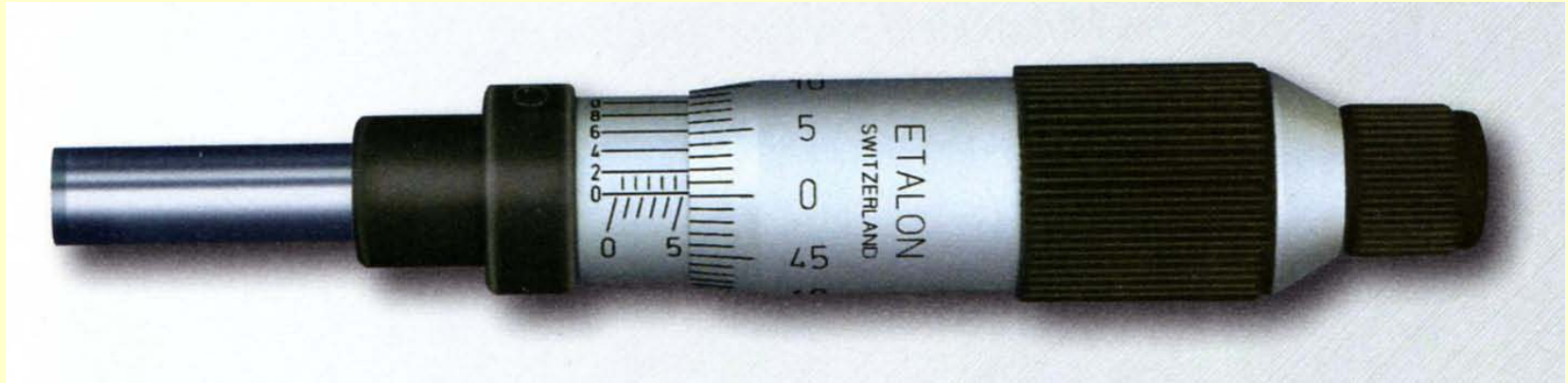
**Przyrządy mikrometryczne do
pomiaru średnic otworów
produkcji firmy TESA**



GŁĘBOKOŚCIOMIERZ MIKROMETRYCZNY



GŁOWICE MIKROMETRYCZNE



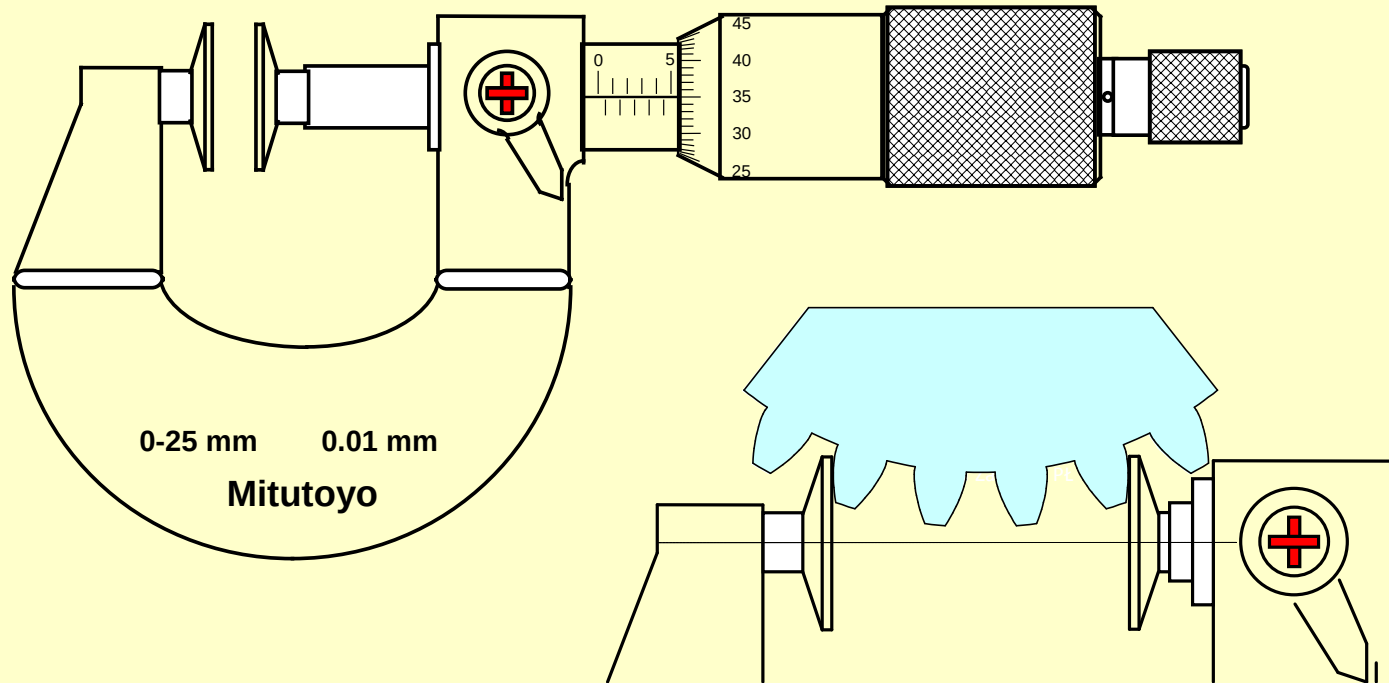
Głowice mikrometryczne (komponenty przyrządów pomiarowych specjalnych) produkcji szwajcarskiej firmy ETALON

PRZYRZĄDY MIKROMETRYCZNE SPECJALNE

Jako przykłady częściej występujących przyrządów mikrometrycznych specjalnych wymienić można:

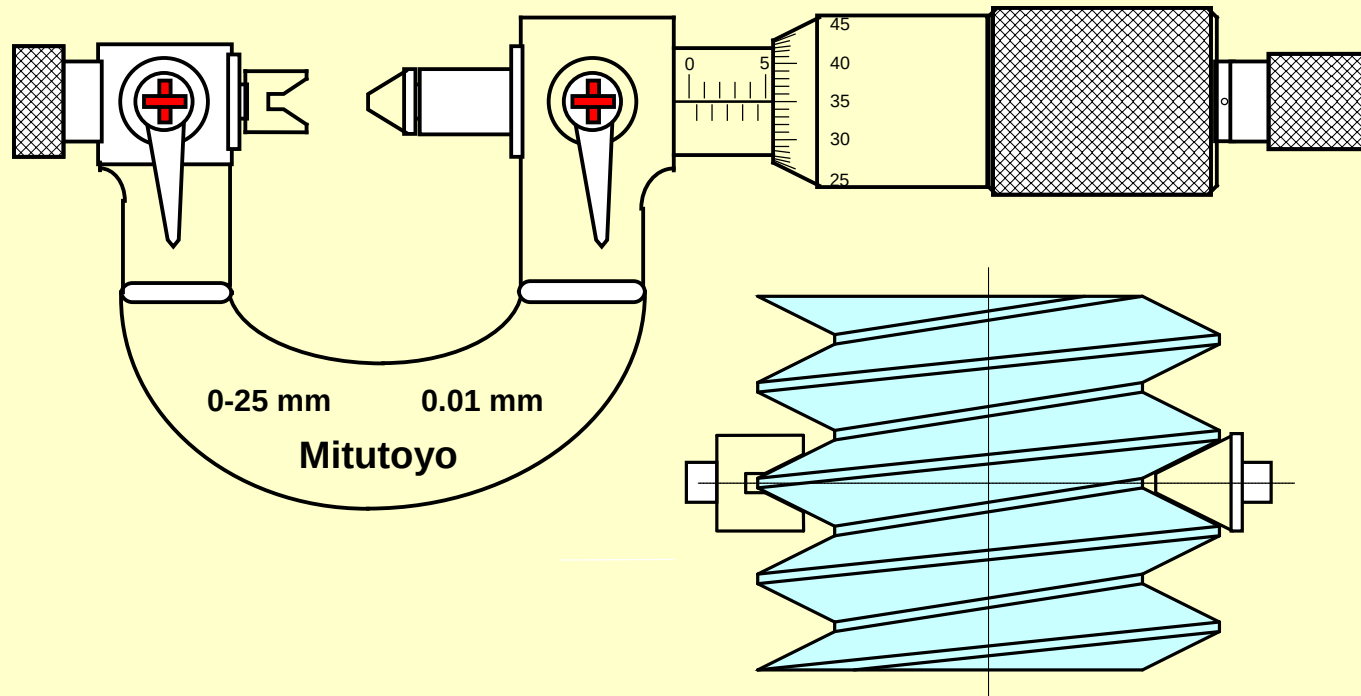
- **mikrometry do pomiaru grubości zębów w kołach zębatych;**
- **mikrometry do pomiaru średnic podziałowych gwintów;**
- **mikrometry do pomiaru średnic obrotowych nieciągłych (głównie średnic narzędzi skrawających);**
- **mikrometry do pomiaru grubości ścianek rur;**
- **mikrometry do pomiaru średnicy drutu;**
- **... i szereg innych;**

MIKROMETR DO POMIARU GRUBOŚCI ZĘBÓW W KOŁACH ZĘBATYCH



**Przyrząd do pomiaru grubości zębów kół zębatych metodą
„przez n zębów”**

MIKROMETR DO POMIARU ŚREDNICY PODZIAŁOWEJ GWINTU

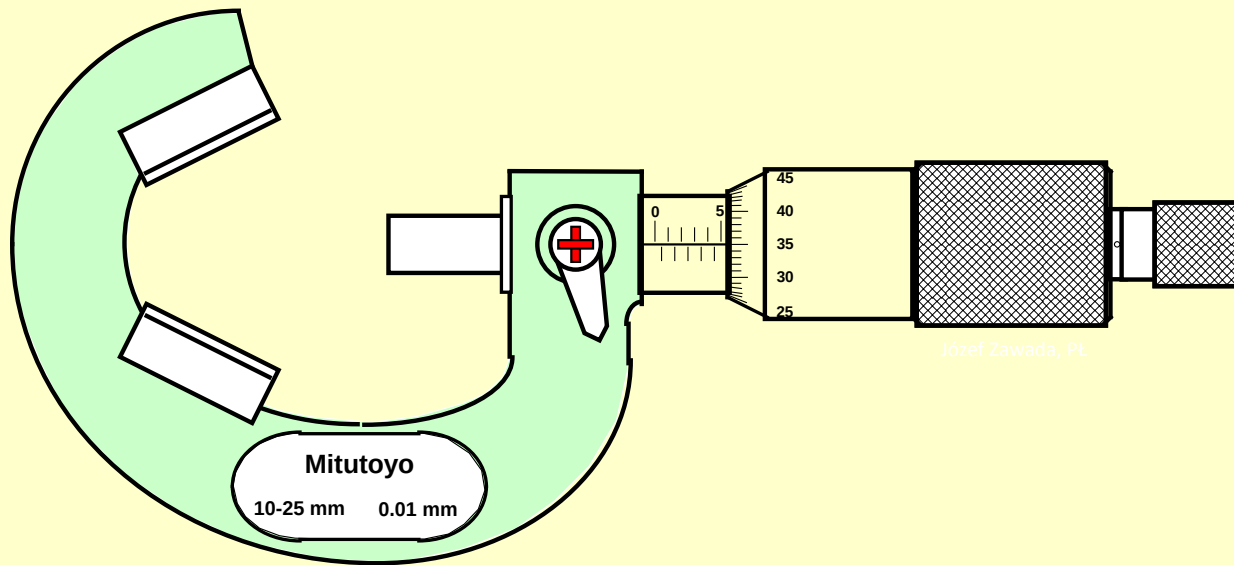


MIKROMETR DO POMIARU ŚREDNICY PODZIAŁOWEJ GWINTU



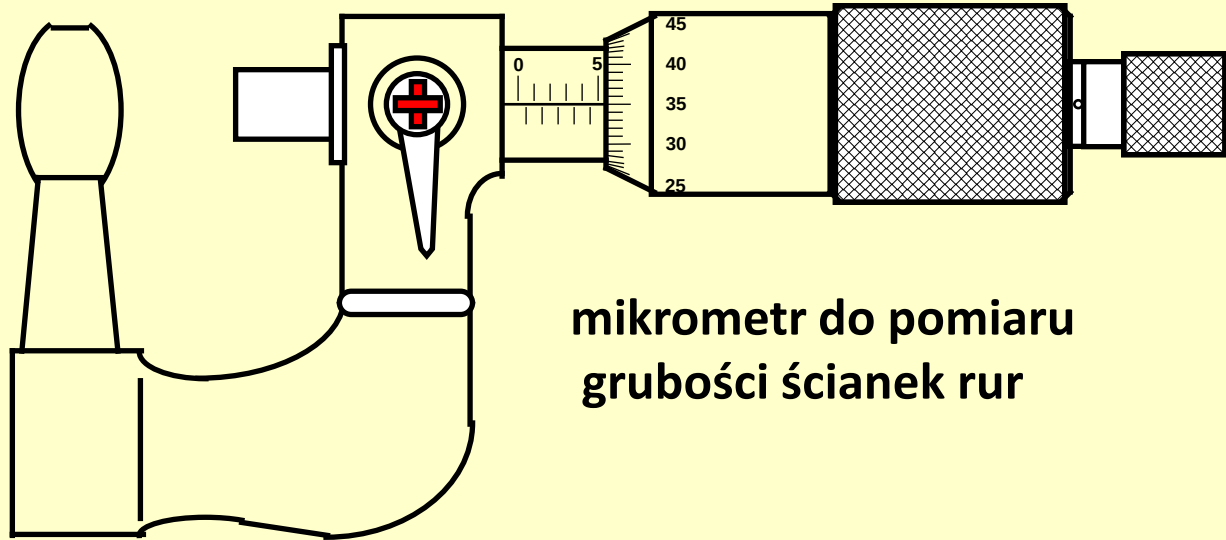
Posiada szereg wymiennych końcówek pomiarowych, dostosowanych do parametrów mierzonych gwintów. Po zamianie końcówek przyrząd należy wzorcować.

MIKROMETR DO POMIARU ŚREDNIC POWIERZCHNI OBROTOWYCH NIECIAĞŁYCH

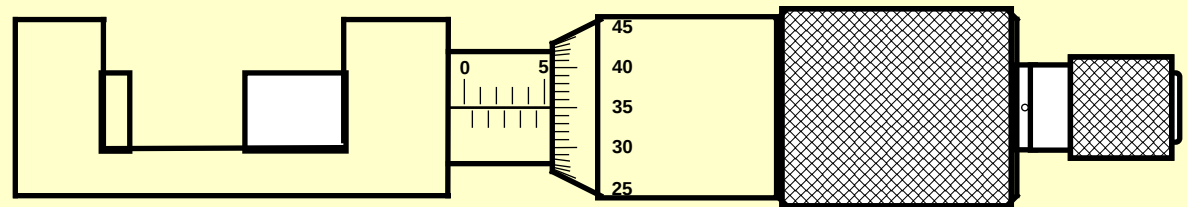


Najczęściej stosowany do pomiaru średnic narzędzi skrawających z nieparzystą liczbą ostrzy. Kąt pomiędzy kowadełkami i skok śruby mikrometrycznej zależą od liczby tych ostrzy i są tak dobrane, by przyrząd wskazywał bezpośrednio średnicę mierzonego narzędzia.

MIKROMETRY SPECJALNE

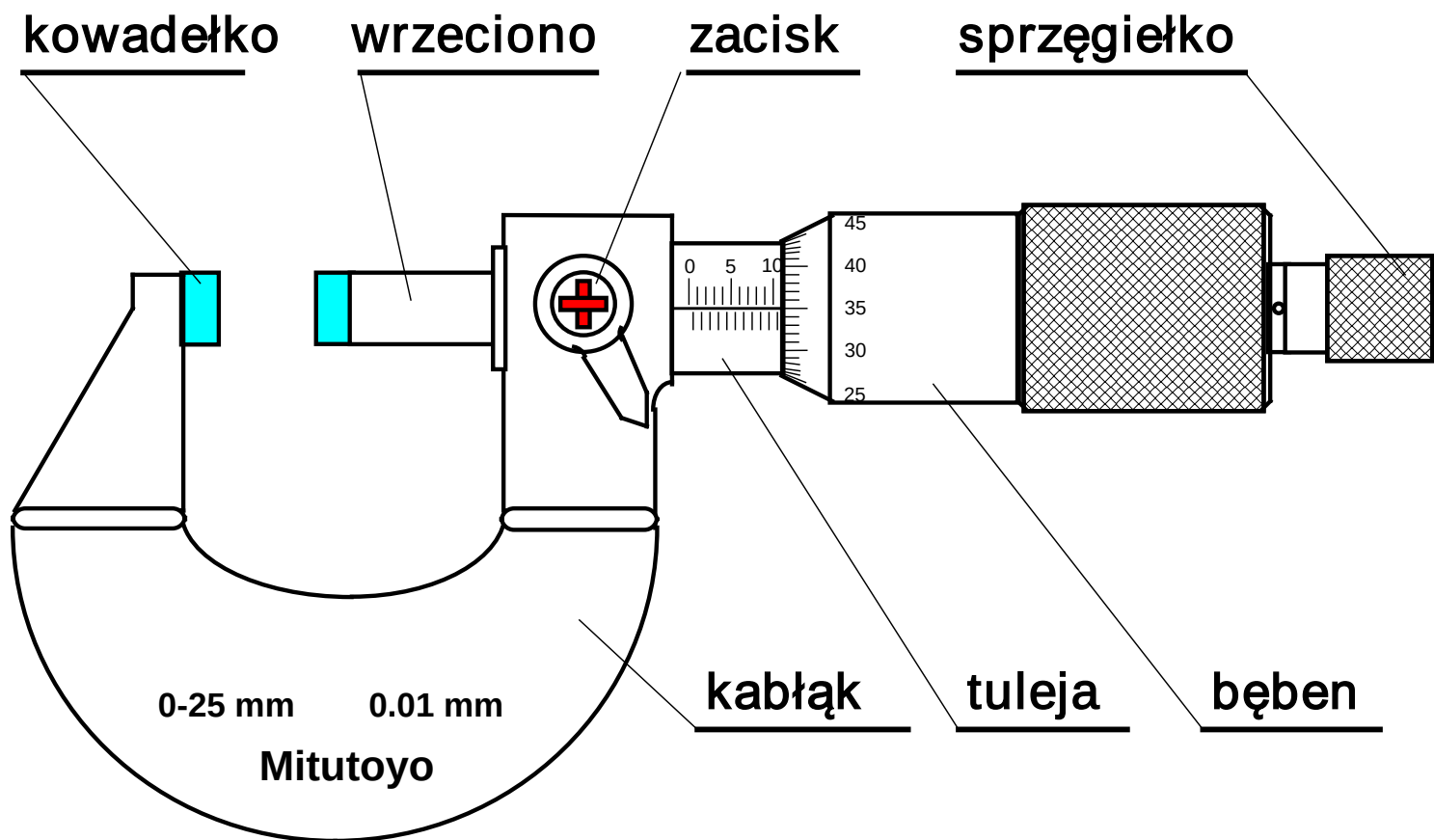


**mikrometr do pomiaru
grubości ścianek rur**



mikrometr do pomiaru średnicy drutu

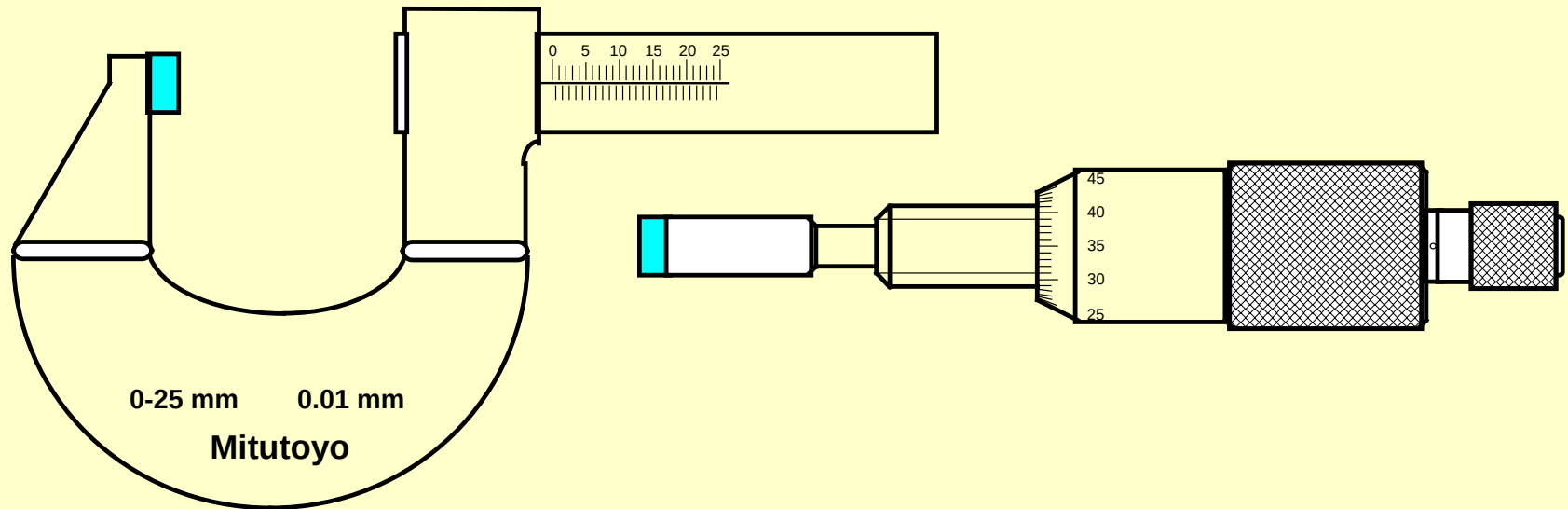
MIKROMETR – PODSTAWOWE ELEMENTY



MIKROMETR – ZASADA DZIAŁANIA

Zespół kowadełka

Zespół wrzeciona

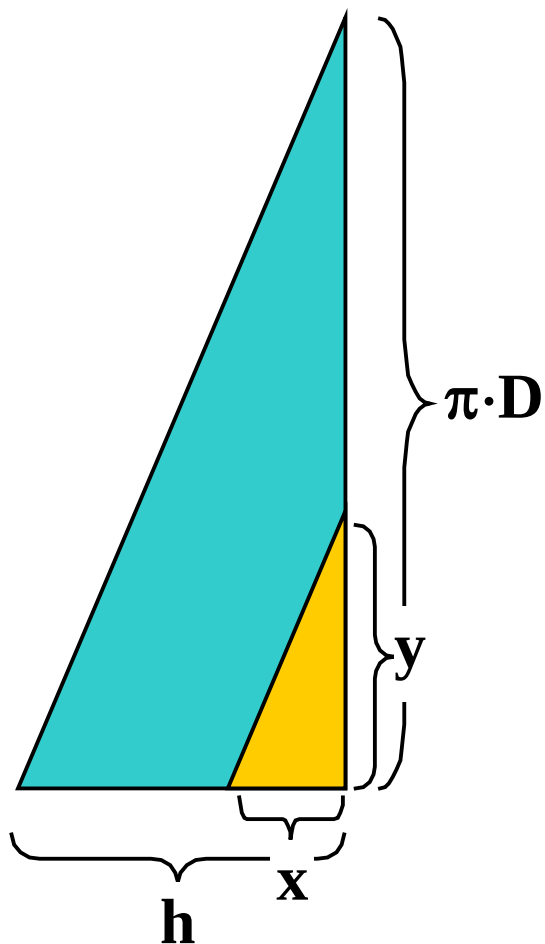


Ponieważ w trakcie pomiaru kowadełko i tuleja stanowią jedną sztywną całość, tak samo jest z wrzecionem i bębniem, więc wzajemne położenie końcówek pomiarowych można określić na podstawie obserwacji położenia bębna względem tulei:

zgrubnie - na podstawie ich wzajemnego położenia liniowego;

precyzyjnie - na podstawie ich wzajemnego położenia kąтового;

PRZEŁOŻENIE MIKROMETRU



$$\frac{y}{x} = \frac{\pi \cdot D}{h} \Rightarrow y = \frac{\pi \cdot D}{h} \cdot x$$

$$\frac{\pi \cdot D}{h} = k = \text{przełożenie mikrometru}$$

gdzie:

D – średnica bębna;

h – skok śruby mikrometrycznej

W przyrządach mikrometrycznych wartość przełożenia $k = 100 \div 200$

ZWIĘKSZANIE PRZEŁOŻENIA MIKROMETRU



Tarcza odczytowa o średnicy większej od średnicy bębna pozwoliła na naniesienie stu działek elementarnych i zastosowanie śruby mikrometrycznej o skoku równym jeden milimetr.

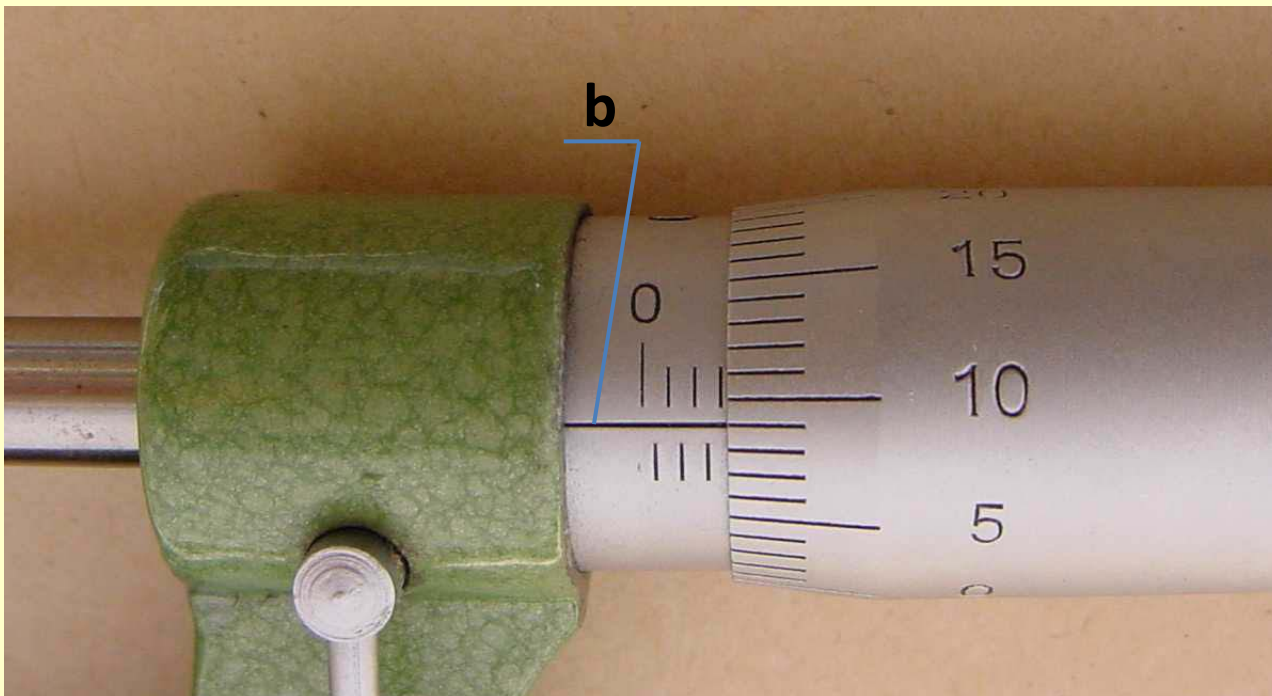
ZWIĘKSZANIE PRZEŁOŻENIA MIKROMETRU



Powiększenie średnicy bębna umożliwiło naniesienie na jego obwodzie dwustu działek elementarnych. Pozwoliło to na zastosowanie śruby mikrometrycznej o skoku równym 1 mm i zwiększenie rozdzielczości odczytu do 0,005 mm.

PRZYZRZĄDY MIKROMETRYCZNE - ODCZYT WSKAZAŃ

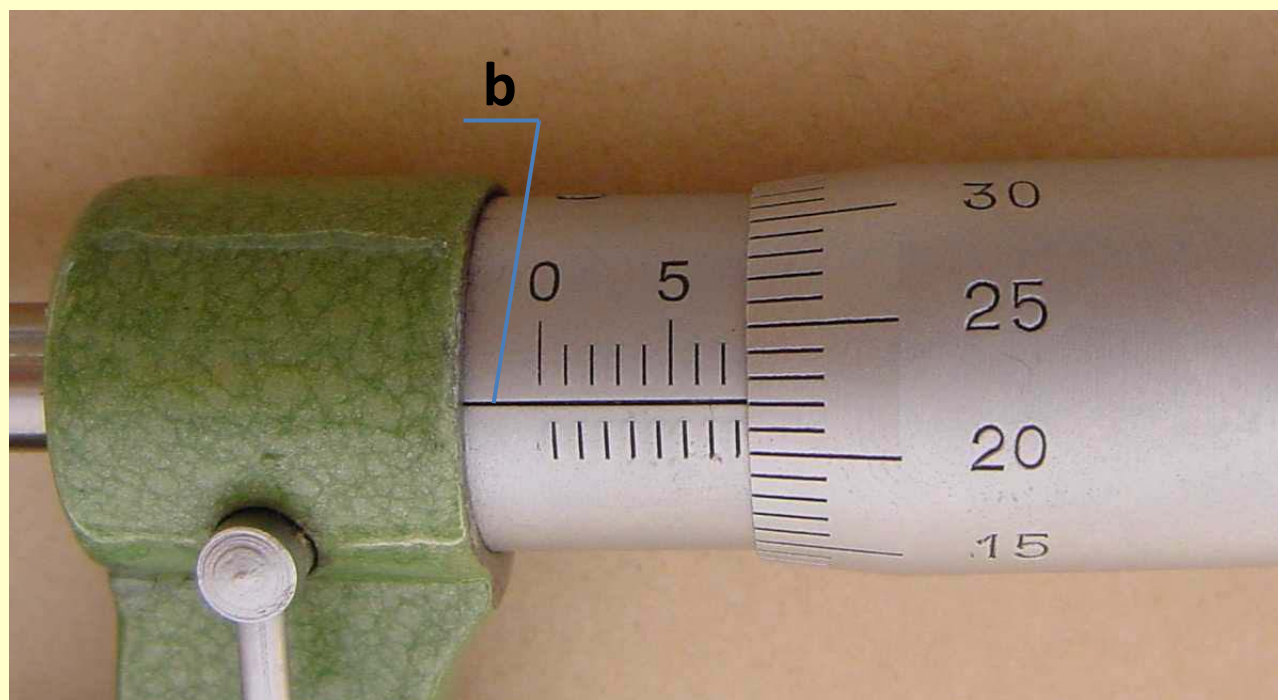
Całkowite milimetry odczytuje się z podziałki naniesionej na tulei, w tym przypadku podziałki znajdującej się powyżej linii b. Przeciwwskaźnikiem jest lewa krawędź bębna. Setne części milimetra odczytuje się z podziałki umieszczonej na bębnie - rolę przeciwwskaźnika pełni linia b.



**Prawidłowy
odczyt: 3,09**

PRZYZRZĄDY MIKROMETRYCZNE - ODCZYT WSKAZAŃ

Jeżeli skok śruby mikrometrycznej wynosi 0,5 mm, to podziałka na bębnie zawiera 50 działek elementarnych, a na tulei nanosi się pomocniczą podziałkę (podziałka poniżej linii b). Jeżeli podczas odczytu najbliższa lewej krawędzi bębna jest kresa podziałki pomocniczej, to do wartości odczytanej z podziałki bębna należy dodać 0,50.



to do wartości odczytanej z podziałki bębna należy dodać 0,50.

**Prawidłowy
odczyt:**

$$7 + 0,22 + 0,50 = 7,72$$

BŁĄD PÓŁMILIMETROWY (1/2)

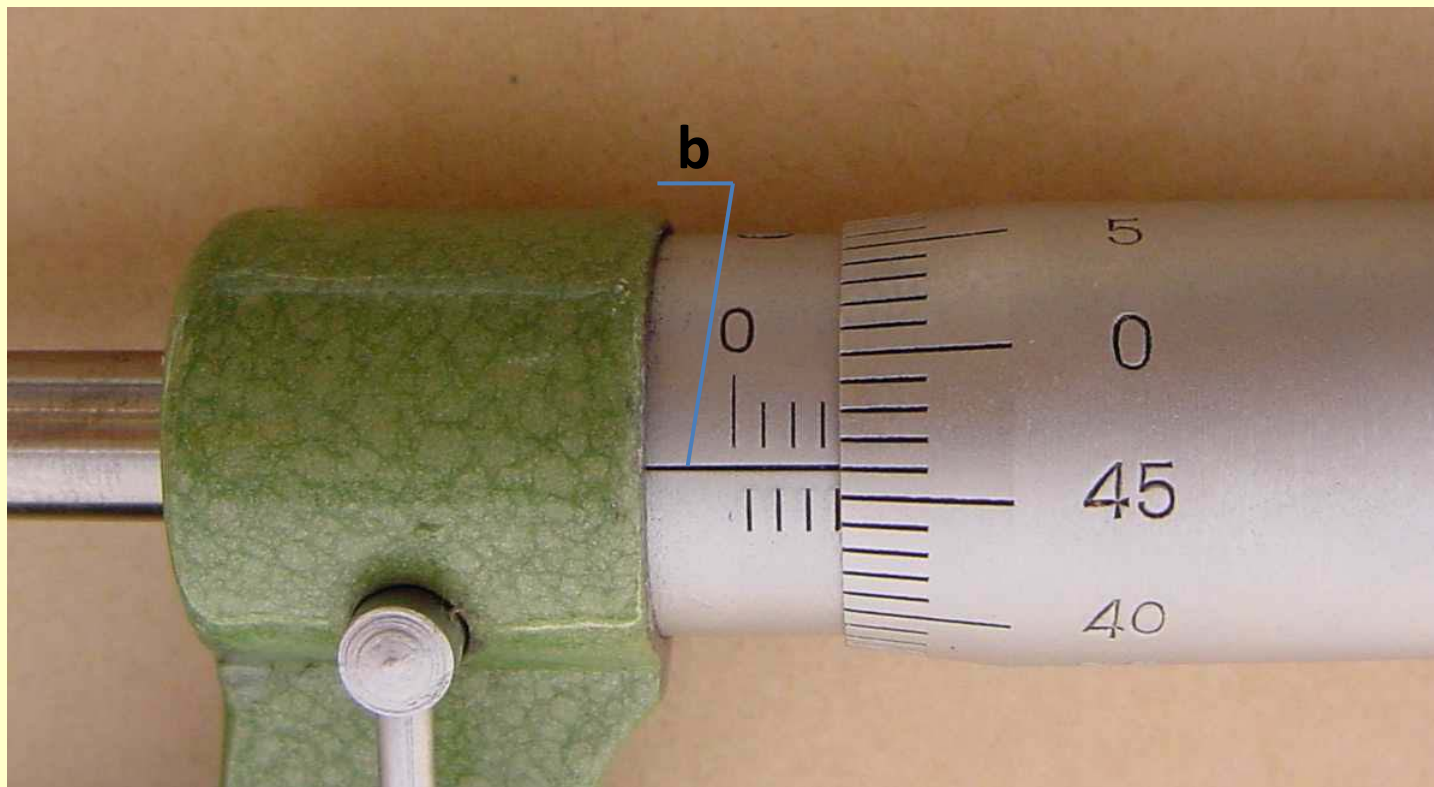
Występuje w przypadku mikrometrów posiadających śrubę mikrometryczną o skoku 0,5 mm. Można go popełnić na dwa różne sposoby:

- nie dodając do odczytu 0,50, gdy należało to zrobić;
- dodając do odczytu 0,50, kiedy robić tego nie należało;

Brak wymaganej korekty odczytu z bębna wynika najczęściej z roztarżnienia mierzącego, natomiast niepotrzebna korekta wynika z błędnej oceny momentu „odsłonięcia kresy”.

Kresy naniesione na tulei mają pewną grubość, która może dochodzić nawet do 0,3 mm. Z tego powodu lewy brzeg kresy zaczyna być odsłaniany, zanim kresa b wskaże na bębnie wartość 0. Przykładowo kresa o grubości 0,25mm, przy idealnym wyregulowaniu osiowego położenia bębna, zacznie się pokazywać już przy wskazaniu 38 , natomiast momentem jej odsłonięcia jest dopiero wskazanie 0. Dlatego też przy braku należytej koncentracji można uznać, że kresa została odsłonięta, chociaż w rzeczywistości fakt ten jeszcze nie nastąpił (patrz następny slajd).

BŁĄD PÓŁMILIMETROWY (2/2)

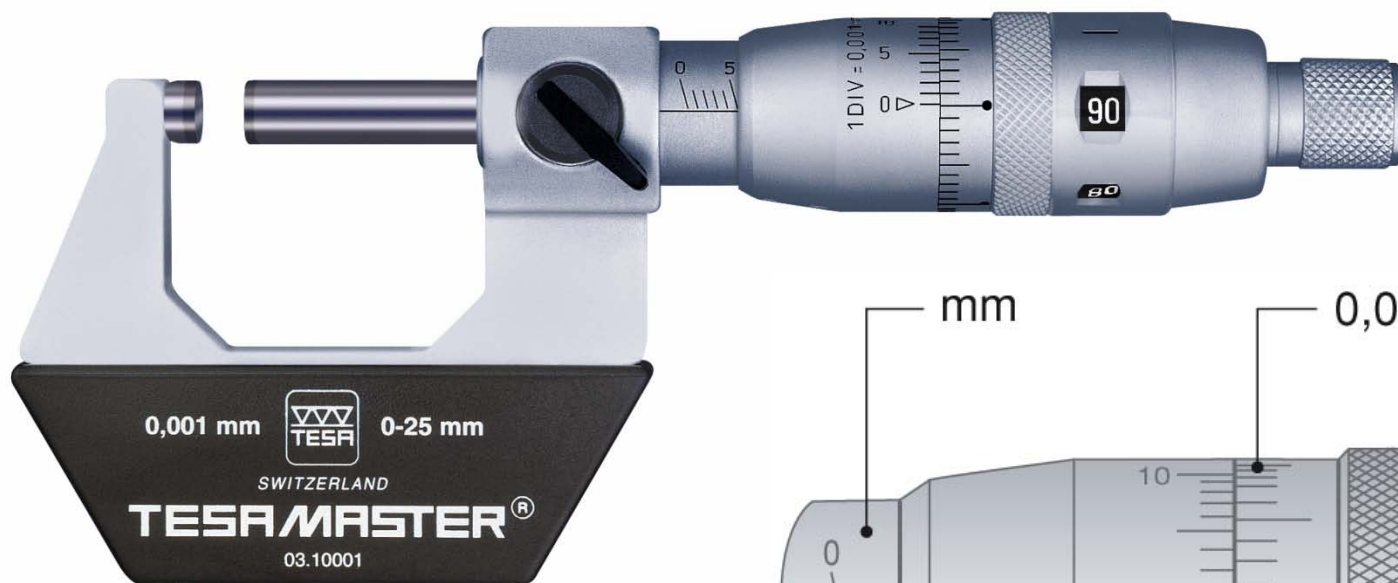


Wyraźnie już widoczna kreska podziałki dolnej może stanowić powód dodania do odczytu z bębna wartości 0,50. Tymczasem „drugi” obrót bębna i związana z nim korekta odczytu rozpoczyna się dopiero po minięciu kresy b przez kresę zerową.

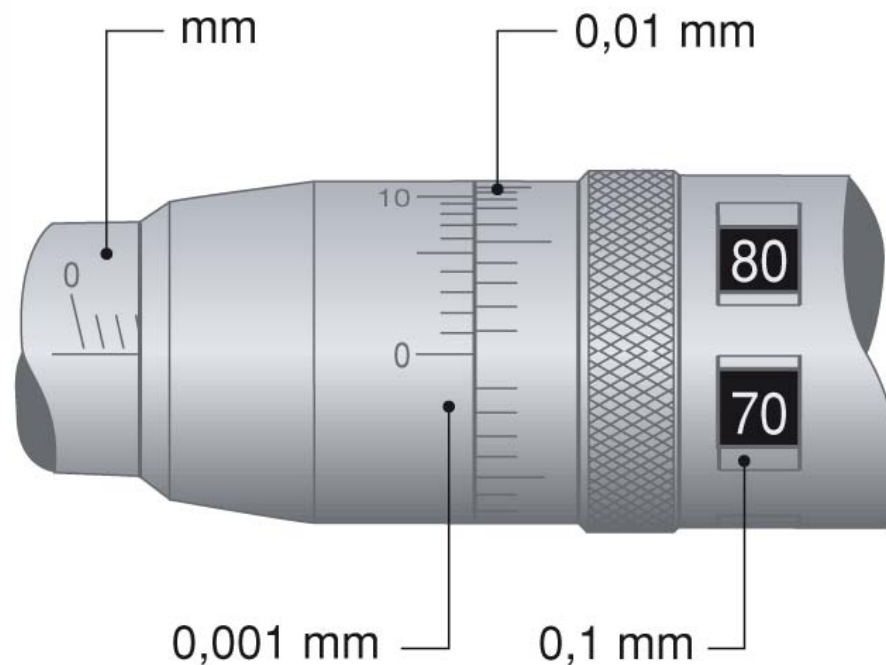
Prawidłowy odczyt: 3,46

Zdjęcie z [<http://www.phy.uct.ac.za>]

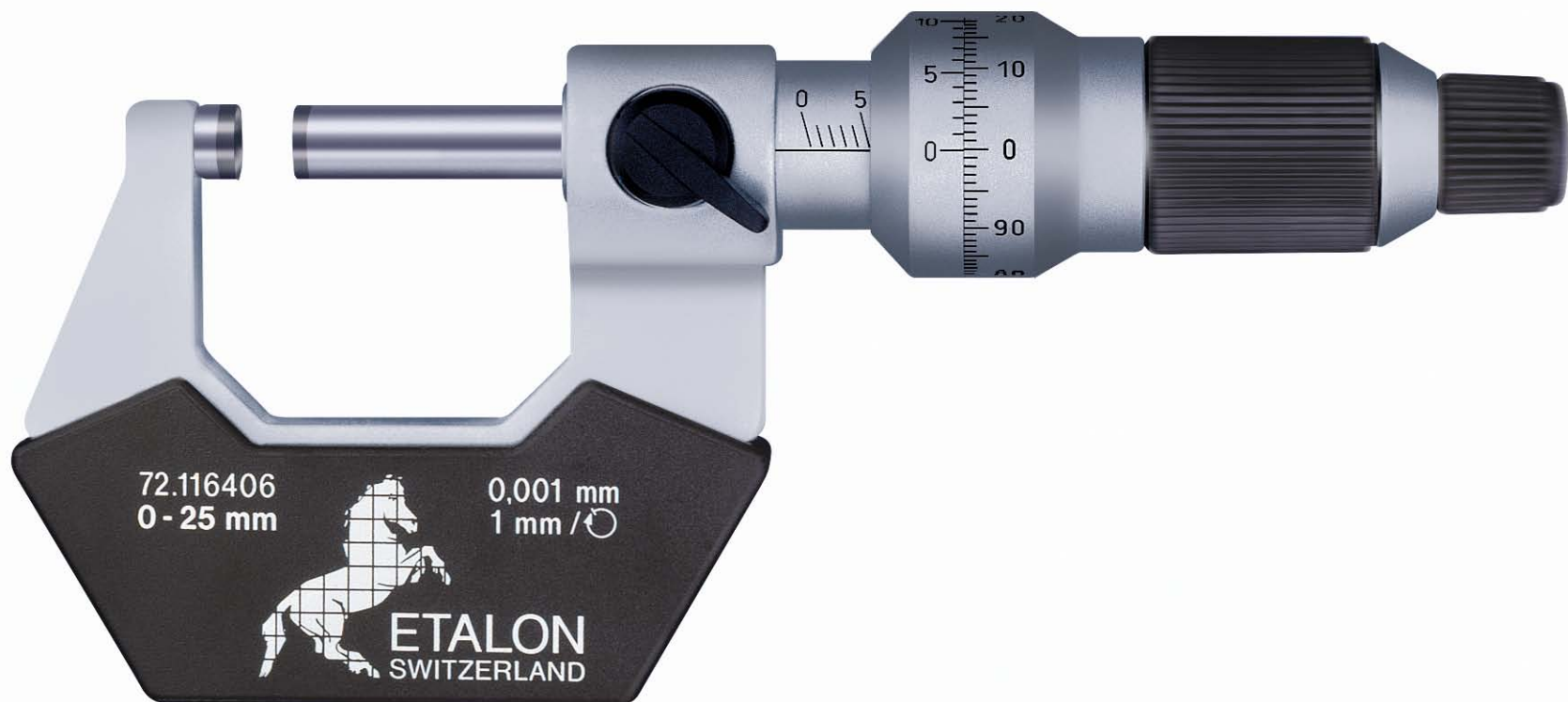
SPOSOBY ELIMINACJI „BŁĘDU 0,5 MM”



Zastosowanie obrotowych płytek z napisami 0, 10, 20, 30 i 40 po jednej stronie – widocznymi przy „pierwszym obrocie” śruby oraz 50, 60, 70, 80 i 90 po drugiej stronie – widocznymi przy „drugim obrocie” śruby.



SPOSOBY ELIMINACJI „BŁĘDU 0,5 MM”



Powiększenie średnicy bębna do rozmiaru umożliwiającego naniesienie podziałki o stu działkach elementarnych i zastosowanie śruby mikrometrycznej o skoku 1 mm. Dodatkowo rozwiązanie to posiada noniusz umożliwiający odczyt z rozdzielczością 0,001 mm i ma wyeliminowany błąd paralaksy (przeciwwskaźnik – kresa zerowa noniusza leży na tej samej powierzchni walcowej co podziałka)

WYMAGANIA ODNOŚNIE DOKŁADNOŚCI

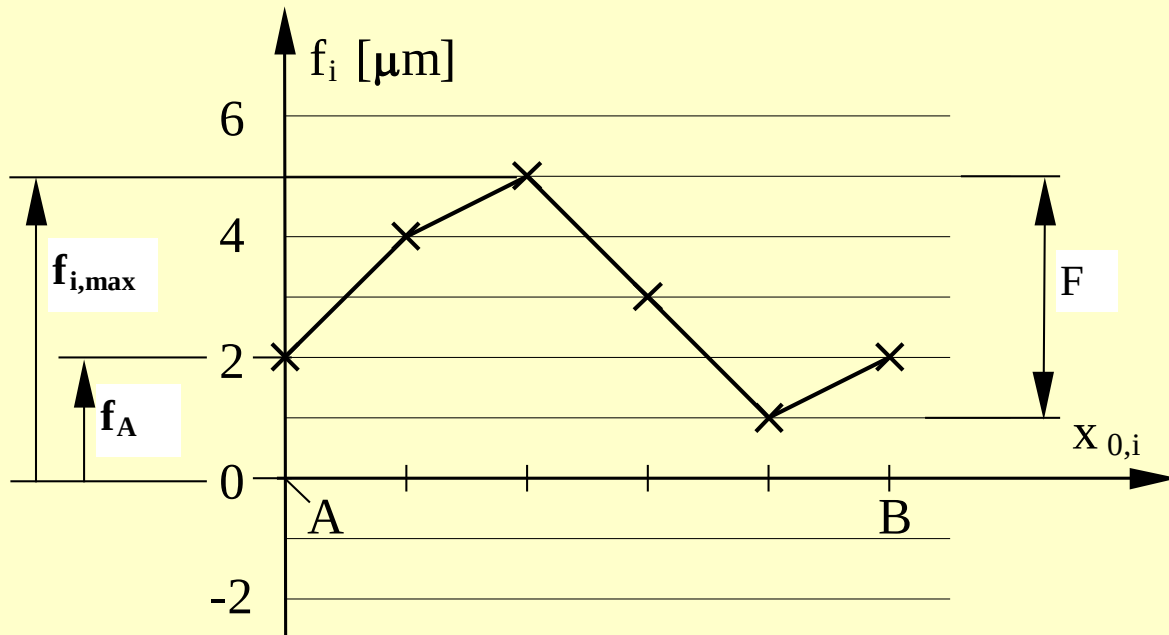
Dokładność wskazań mikrometru sprawdza się przy pomocy płytek wzorcowych długości.

Błąd wskazań f_i - różnica pomiędzy wskazaniem x_i przyrządu mikrometrycznego, a wymiarem nominalnym $x_{0,i}$ mierzonej przez niego płytki wzorcowej.

$$f_i = x_i - x_{0,i}$$

Wartości $x_{0,i}$ dobiera się tak, aby były w przybliżeniu równomiernie rozłożone w zakresie pomiarowym przyrządu, a bęben przy odczycie zajmował różne położenia kątowe. Np. dla mikrometru o zakresie pomiarowym $0 \div 25$ mm zalecanymi wartościami są: $\{0, 2.5, 5.1, 7.7, 10.3, 12.9, 15, 17.6, 20.2, 22.8, 25\}$

WYKRES BŁĘDÓW MIKROMETRU



Kryteria oceny stanowią:

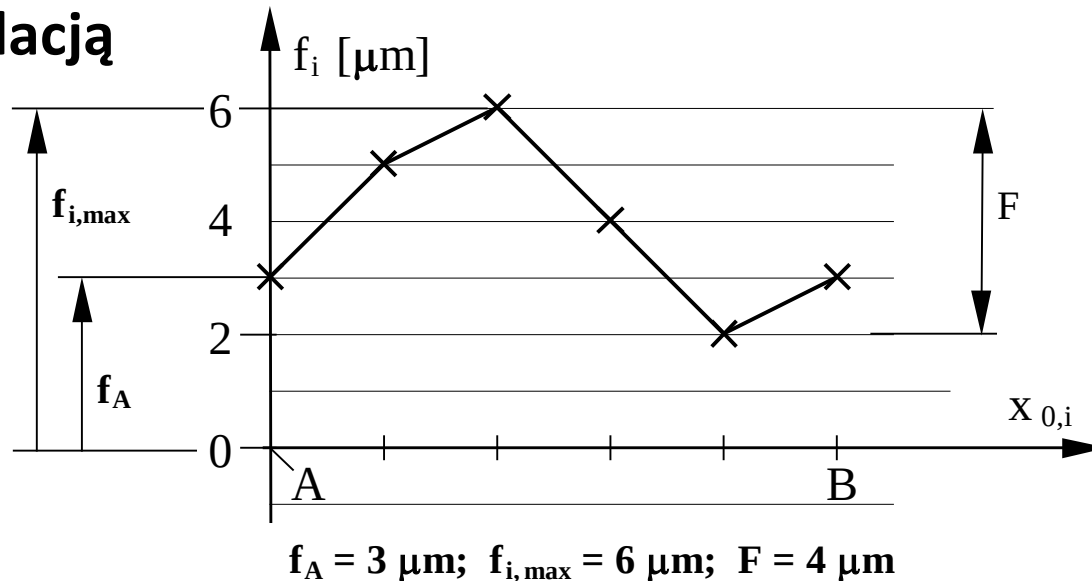
- błąd wskazania zerowego f_A ;
- maksymalny co do wartości bezwzględnej błąd f_i ;
- rozstęp wartości błędów F ($F = f_{i,max} - f_{i,min}$);

PRZYRZĄDY MIKROMETRYCZNE - REGULACJA WSKAZAŃ

- **Konstrukcja przyrządów mikrometrycznych umożliwia regulację wartości wskazań przez użytkownika (po odblokowaniu bębna można go obrócić względem nieruchomego wrzeciona)**
- **Dzięki regulacji wskazań uzyskany wykres błędów można poprawić poprzez symetryzację błędów ekstremalnych względem linii zerowej**

REGULACJA WSKAZAŃ c.d.

Przed regulacją



Po regulacji

