

INSTRUKCJA DO ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH

Laboratorium z przedmiotu:

Podstawy metrologiiKod przedmiotu: **KS02138**

Temat:

Identyfikacja i pomiary walcowych kół zębatach o zębach prostych ewolwentowych

Kod ćwiczenia:

Nr ćwiczenia: **6**

Kierunek:

Zarządzanie i inżynieria produkcji**Cel ćwiczenia:**

Zapoznanie się z podstawowymi parametrami określającymi geometrię kół zębatach, nabycie umiejętności identyfikacji rodzaju zębatach, praktycznego pomiaru wybranych wielkości oraz przeprowadzenie oceny dokładności wykonania mierzonych kół.

Wyposażenie stanowiska:

Narzędzia pomiarowe: suwmiarka, suwmiarka modułowa, mikrometr talerzykowy. Zestaw 2 kół zębatach o zębach prostych, ewolwentowych, normalnych, zerowych. Instrukcja do ćwiczeń.

Zakres ćwiczenia:

Określenie rodzaju zębatach zestawu kół zębatach.

Wykonanie pomiaru podstawowych wielkości koła zębatach grubości zęba za pomocą suwmiarki uniwersalnej, suwmiarki modułowej oraz mikrometru do kół zębatach dla zestawu dwóch kół zębatach.

Sprawozdanie z ćwiczeń

Wykonanie sprawozdania na podstawie załączonego do instrukcji formularza.

LITERATURA:

1. Grudowski P., Meller A.: Laboratorium metrologii warsztatowej i inżynierii jakości. Politechnika Gdańska. Gdańsk 2006.
2. Jakubiec W., Malinowski M.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT Warszawa 2004.
3. Ocheduszek K.: Koła zębatach. Tom I konstrukcje. WNT Warszawa 2009.
4. PN-81/M-01140: Rysunek techniczny maszynowy. Koła zębatach.
5. PN-80/M-53130. Przyrządy suwmiarkowe.
6. PN-82/M-53200. Przyrządy mikrometryczne.
7. Praca zbiorowa. *Poradnik metrologa warsztatowca*. Warszawa 1973, WNT
8. Praca zbiorowa pod red. W. Moskała. Metrologia i Kontrola Techniczna. Ćwiczenia laboratoryjne. Wydawnictwa Politechniki Białostockiej. Białystok 1981.
9. Praca zbiorowa pod red. E. Ratajczyka. Laboratorium pomiarów wielkości geometrycznych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1980.

Opracował:

dr inż. Łukasz Dragun

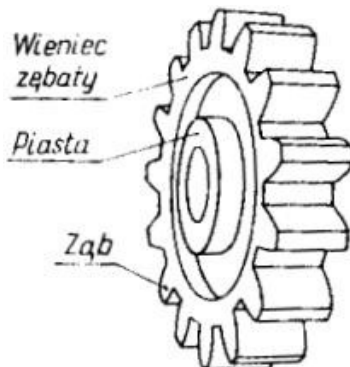
Sprawdził:

dr hab. inż. Jerzy Jaroszewicz

Politechnika Białostocka 2020

1. WPROWADZENIE DO ĆWICZENIA

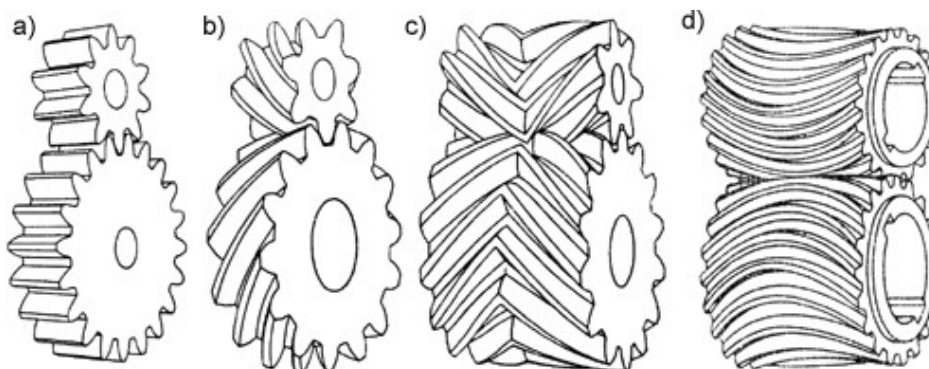
Koła zębate są głównymi elementami przekładni umożliwiającymi przenoszenie napędu. Koło zębate składa się z wienca zębatego i części łączącej wieniec zębata z wałem lub piastą. W wieniec znajdują się zęby i wręby. Zęby składają się z głowy i stopy. Jeśli powierzchnia dzieląca ząb na wymienione części jest walcem, takie koło nosi nazwę walcowego. Jeśli stożkiem to jest to koło zębate stożkowe. Linia przecięcia boków powierzchni zębów powierzchnia podziałową nosi nazwę linii zębów.



Rys. 1. Widok na koło zębate

Linie zębów mogą być:

- a/ proste, przebiegające wzdłuż tworzących powierzchni podziałowej,
- b/ śrubowe, gdy linia zęba jest linia śrubowa,
- c/ strzałkowe (daszkowe),
- d/ łukowe, gdy linia zęba jest łuk.



Rys. 2. Linie zęba w kołach zębatych

Podstawowe wymiary walcowego koła zębatego o zębach prostych.

z – liczba zębów,

m – moduł, wielkość charakterystyczna określona zależnością $m = \frac{p_t}{\pi}$,

p_t – podziałka czołowa mierzona na łuku okręgu podziałowego

$$p_t = \pi \cdot m,$$

p_b – podziałka zasadnicza mierzona na łuku okręgu zasadniczego

$$p_b = p_t \cdot \cos \alpha,$$

d – średnica koła podziałowego $d = m \cdot z$,

d_a – średnica koła wierzchołków $d_a = d + 2h_a = m(z + 2y + 2x)$,

d_f – średnica koła podstaw

$$d_f = d - 2(y + k')m + 2xm = m(z - 2y - 2k' + 2x),$$

d_b – średnica koła zasadniczego $d_b = d \cdot \cos \alpha$,

h_a – wysokość głowy zęba $h_a = m(y + x)$,

h_f – wysokość stopy zęba $h_f = m(y + k' - x)$,

h – wysokość zęba $h = h_a + h_f$,

α – nominalny kąt zarysu,

s – teoretyczna grubość zęba (\bar{s} – po łuku, \bar{s}_c – po cięciwie),

s_r – rzeczywista grubość zęba (\bar{s}_r – po łuku, \bar{s}_{rc} – po cięciwie),

$e = s$ – teoretyczna grubość wrębu,

c – luz wierzchołkowy $c = k' \cdot m$

l_n – normalny luz międzyzębny boczny ($\delta_s = (0,015 \pm 0,03)m$ – luz obwodowy),

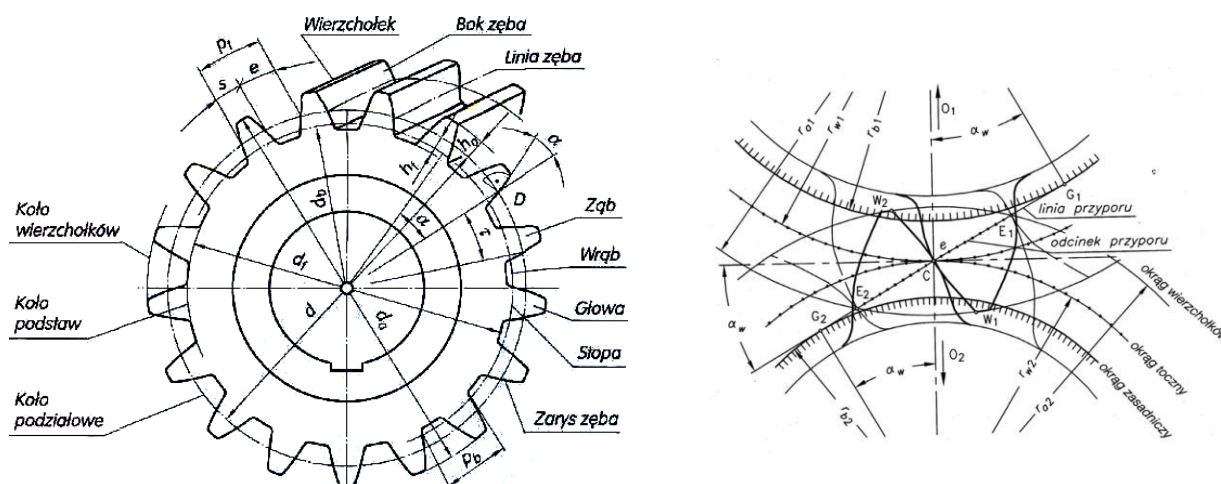
a – odległość osi kół współpracujących $a = 0,5m(z_1 + z_2)$,

x – współczynnik przesunięcia zarysu zęba (współczynnik korekcji),

$x = 0$ – koło, bez korekcji, $x > 0$ – korekcja dodatnia, zarys zęba przesunięty na zewnątrz koła, $x < 0$ – korekcja ujemna, zarys zęba przesunięty do wewnątrz koła,

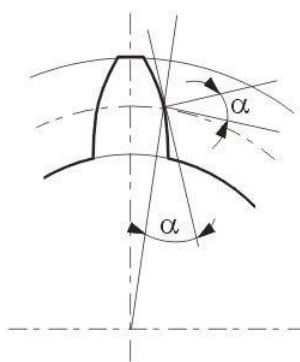
y – współczynnik wysokości głowy zęba, może przyjmować następujące wartości: $y = 1$, $y > 1$, $y < 1$ dla zębów: normalnych, wysokich i niskich,

k' – współczynnik luzu wierzchołkowego, $k' = 0,1 \pm 0,3$ (zalecane $k' = 0,2$).



Rys. 3. Podstawowe elementy w kole zębatym

Konstrukcyjnie, najprostsze są koła walcowe o zębach prostych – linie zębów są tworzącymi walców podziałowych. Zarysy boków zębów są ewolwentami. **Kąt zarysu (przyporu) α** (najczęściej $\alpha = 20^\circ$) jest to kąt zawarty między styczną do zarysu zęba w punkcie leżącym na średnicy podziałowej a linią wyznaczającą najkrótszą odległość tego punktu od osi koła zębatego.



Rys. 4. Kąt zarysu

Tab. 1. Ciągi modułów m kół zębatych z PN ISO 54:2001

I	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10
II	1,12	1,375	1,75	2,25	2,7	3,5	4,5	5,5	6,5	9	11
I	12	16	20	25	32	40	50				
II	14	18	22	28	36	45					

Moduły pogrubiona czcionką są uprzywilejowane

Sprawdzenie uzębienia koła obejmuje pomiar podziałek i ich równomierności, pomiar bicia zęba, sprawdzenie pomiarów zarysu zęba i linii zęba oraz sprawdzenie grubości zęba. Sprawdzenie grubości zębami ma na celu umożliwienie właściwej współpracy dwóch kół zębatych (bez zakleszczeń), do czego musi być zapewniony odpowiedni **luz międzyzębny c (wierzchołkowy)**. Luz ten zależy z jednej strony od odchyłek grubości zęba, z drugiej strony od odchyłek odległości osi kół współpracujących. O wartość luzu wierzchołkowego musi być wyższa stopa zęba w kole 2 od głowy zęba w kole 1.

$$h_{f1} = h_{a2} + c \quad h_{f2} = h_{a1} + c \quad h = h_{a1} + h_{f1} = h_{a2} + h_{f2}$$

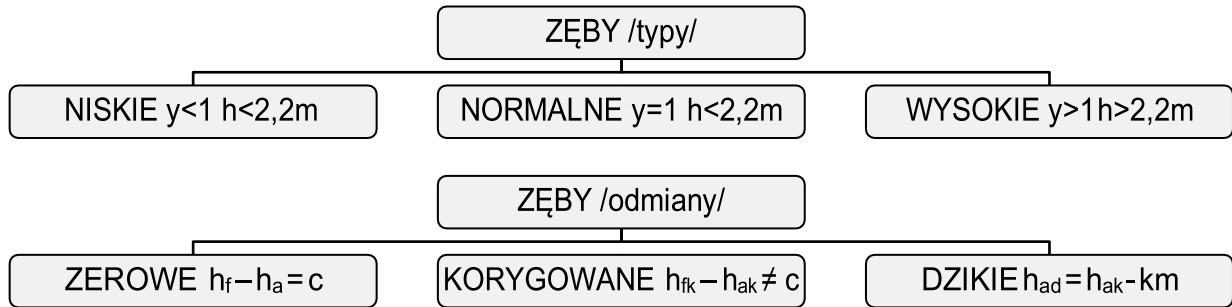
Całkowita wysokość zęba h nie jest wielkością dowolną, jest określona następującą zależnością:

$$h = 2ym + c$$

gdzie:

y - współczynnik wysokości zęba.

W rozwiązaniach konstrukcyjnych spotyka się różne typy i odmiany zębów:



k - współczynnik skrócenia głowy zęba dzikiego

Czynną wysokością zęba jest ta jego część, która bierze udział we współpracy kół zębatych. W celu zapobieżenia nadmiernemu zużyciu się kół czynna wysokość zębów powinna być jak największa, z drugiej jednak strony należy zadbać by poślizg właściwy zazębienia był jak najmniejszy. Podczas obróbki obwodniowej może nastąpić podcięcie zęba u podstawy lub zaostrenie zęba u wierzchołka (podczas korygowania zębów).

Graniczna liczba zębów jest to najmniejsza liczba zębów w kole, w których nie występuje podcięcie stopy zęba. W celu umożliwienia zastosowania koła o mniejszej, niż graniczna liczba zębów należy dokonać przesunięcia zarysu boku zęba (**korekcji uzębienia**). Przesunięcie zarysu musi być dokonane w taki sposób, by nie nastąpiło podcięcie zęba lub jego zaostrenie (dolna i górna granica przesunięcia zarysu zęba). W rzeczywistości koła zębate występują co najmniej w parze. W związku z tym, jeśli zostanie dokonana korekcja uzębienia w jednym kole, to także należy skorygować uzębienie w kole współpracującym. Powoduje to zmianę wielkość stopnia porcyia i poślizgu zębów. Niejednokrotnie ulega zmianie również odległość osi kół.

Korekcja P-0

W tej korekcji odległość osi kół nie ulega zmianie. W kole mniejszym stosuje się korekcję dodatnią (narzędzie odsuwa się od koła). W kole większym (współpracującym) stosuje się korekcję ujemną (narzędzie wsuwa się głębiej w kierunku osi koła większego).

$$h_{a1} = (y + x_1)m \quad h_{a2} = (y + x_2)m$$

x_1, x_2 - współczynniki przesunięcia zarysów boków zębów w kołach współpracujących

Korekcję P-0 można przeprowadzić wówczas, gdy suma zębów obu współpracujących kół jest równa lub większa od podwójnej, granicznej liczby zębów. Dzięki tej korekcji uzyskuje się powiększenie stopnia porcyia oraz korzystniejsze warunki poślizgowe.

Korekcja P

W tej korekcji odległość osi kół ulega zmianie i może być większa lub mniejsza od zerowej. Powodem zastosowania korekcji P jest mniejsza od podwójnej granicznej liczba zębów kół współpracujących (poszukuje się nowej, rzeczywistej odległości osi) lub gdy w związku konstrukcyjnym wymagają zmianę odległości osi kół.

Po wprowadzeniu korekcji w celu uniknięcia podcięcia zębów osie kół odsuwają się od siebie na odległość a_p . W celu skasowania powstałego luzu należy zbliżyć osie kół o wielkość km , uzyskując rzeczywistą odległość osi. Zsuniecie osi kół spowoduje, że wierzchołek zęba koła małego będzie dotykać dna wrębu koła większego, następnie wierzchołek zęba koła większego będzie dotykać dna wrębu koła mniejszego. Należy stworzyć luz wierzchołkowy poprzez skrócenie głowy zębów obu kół o wartość km (powstają zęby dzikie).

$$a_p = a_o + m(x_1 + x_2) \quad km = a_p - a_r$$

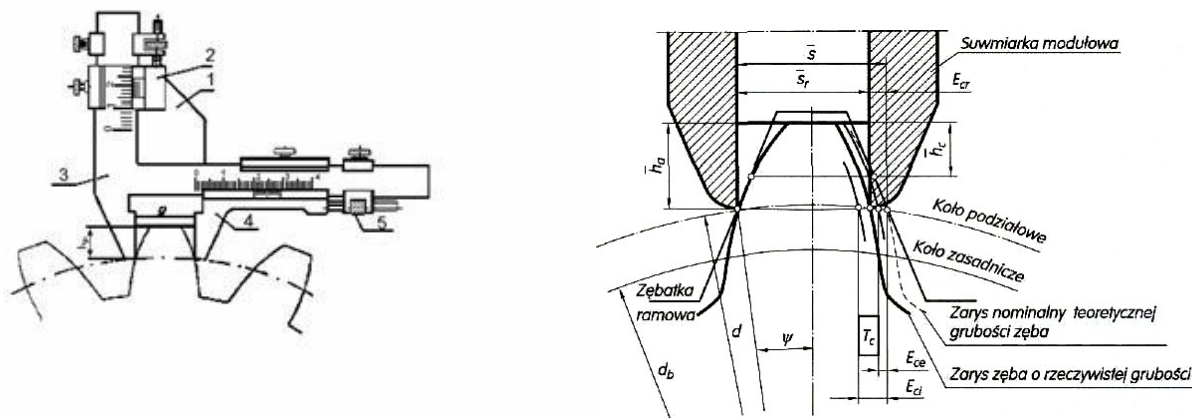
- a_p - pozorna odległość osi
- a_r - rzeczywista odległość osi
- a_o - zerowa odległość osi

Przy korekcji P koła podziałowe odsuwają się od siebie, między nimi powstają koła toczone toczące się po sobie bez poślizgu.

Metody pomiaru grubości zęba:

- a/ pomiar grubości zęba suwmiarką modułową na okręgu podziałowym,
- b/ pomiar grubości zęba suwmiarką modułową wg stałej cięciwy,
- c/ pomiar grubości zęba przy użyciu wałeczka włożonego we wręb,
- d/ pomiar grubości zęba przy użyciu dwóch wałeczków włożonych w przeciwległe wręby, e/ pomiar grubości zęba za pomocą widełek,

Pomiar grubości zęba suwmiarką modułową na okręgu podziałowym.



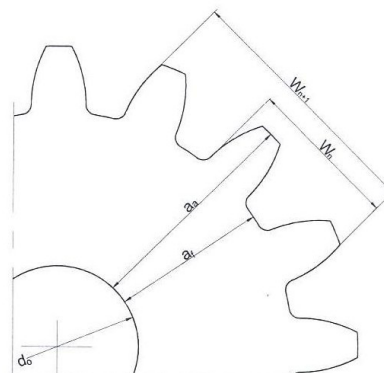
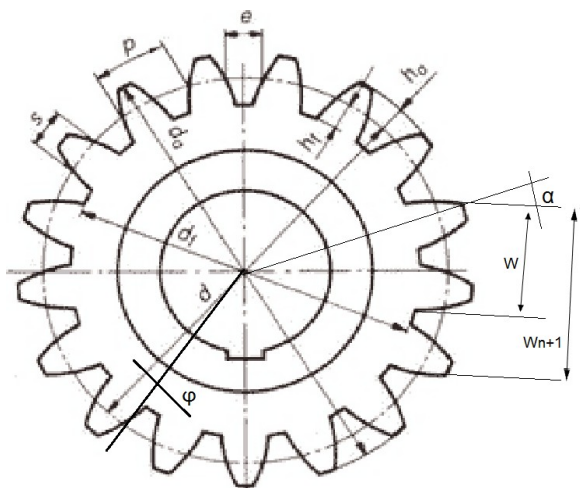
Rys. 6. Pomiar grubości zęba suwmiarką modułową

Do pomiaru kół zębatych stosuje się specjalnie do tego celu przystosowane przyrządy pomiarowe m.in. suwmiarkę modułową i mikrometr talerzykowy. Suwmiarką modułową można wyznaczyć rzeczywisty zarys zęba koła. W tym celu mierzymy grubość zęba na wysokości (głębokości) h_p ustalonej za pomocą wysuwki.

Teoretyczną grubość zęba zerowego normalnego oblicza się na podstawie zależności:

- wysokość stopy zęba $h_a = m$
- kąt środkowy odpowiadający połowie grubości zęba na okręgu podziałowym, $\varphi = 90^\circ / z$
- obliczeniową grubość zębakoł zębatego $s_o = z * m * \sin \varphi$

PRZEBIEG POMIARÓW



1. Wyznaczenie podstawowych wartości kół zębatych

a/ określić liczbę zębów z koła zębatego,

b/ zmierzyć średnice d_a i d_f ,

W przypadku parzystej liczby zębów zmierzyć średnice bezpośrednio: d_a mierząc odległość między wierzchołkami przeciwległych zębów, d_f mierząc odległość między dnami przeciwległych wrębów. Gdy liczba zębów jest nieparzysta, zmierzyć wielkości a_a , a_f , d_o .

Wyznaczyć średnicę wierzchołkową i podstaw z zależności:

$$d_a = 2a_a + d_o$$

$$d_f = 2a_f + d_o$$

c/ określić moduł koła zębatego na podstawie wzoru:

$$m = d_a / z + 2 =$$

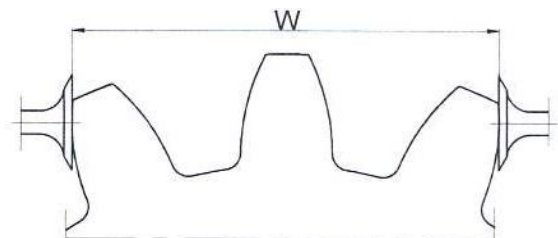
d) wyznaczyć średnicę podziałową na podstawie wzoru:

$$d = mz = \quad [\text{mm}]$$

e) wyznaczyć wartość podziałki na podstawie wzoru:

$$p = m\pi = \quad [\text{mm}]$$

f/ wykorzystując mikrometr talerzykowy wyznaczyć wartość $W_{n+1} - W_n = [\text{mm}]$



g/ obliczyć kąt przyporu na podstawie wzoru:

$$\alpha = \arccos \frac{W_{n+1} - W_n}{m\pi} = \quad [^\circ]$$

h) zmierzyć szerokość uzębienia

$$b = \dots [\text{mm}]$$

2. Obliczenie grubości teoretycznej zęba

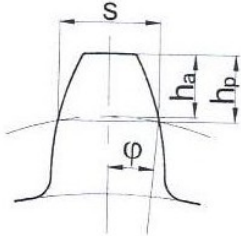
a/ obliczyć wysokość głowy zęba h_a oraz kąt α .

$$h_a = m = \quad [\text{mm}]$$

$$\varphi = 90^\circ / z = \quad [^\circ]$$

b/ wyznaczyć wysokość h_p na jakiej będzie wykonywany pomiar grubości zęba na podstawie wzoru:

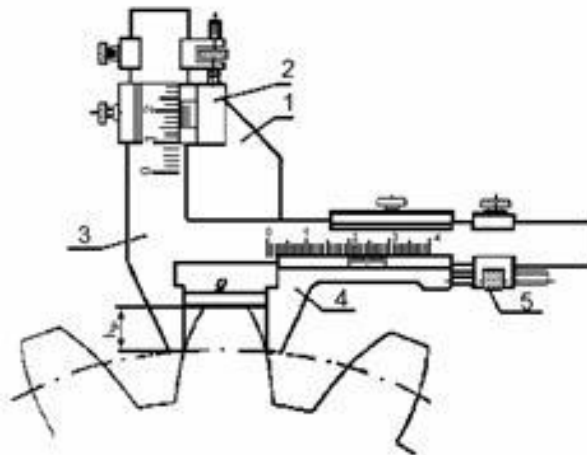
$$h_p = h_a + \frac{z \cdot m_n}{2} (1 - \cos \varphi) = \quad [\text{mm}]$$



c/ wyznaczyć obliczeniową grubość zębakoła zębatego s_o na podstawie wzoru:

$$s_o = z \cdot m \cdot \sin \varphi = [\text{mm}]$$

d) ustawić wartość h_p (2) na wysuwce (1) suwmiarki modułowej (3) opierając wysuwkę o wierzchołek zęba zmierzyć grubość zęba s (4), wyniki pomiarów zamieścić w tabeli.



e/ obliczyć wartość odchyłki grubości zęba E_s na podstawie wzoru:

$$E_s = s_o - s = \dots [\text{mm}]$$

wartości odchyłek zamieścić w tabeli i nanieść na wykres.

1. SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ



POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA



WYDZIAŁ INŻYNIERII ZARZĄDZANIA

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH Z PRZEDMIOTU

Podstawy metrologii

Kod przedmiotu: **KS02138**

<input type="checkbox"/> studia stacjonarne	Ćwiczenie nr			
Temat:				
Nazwisko i imię	Rok ak.	Grupa	Data wykonania	Ocena
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

Prowadzący: dr inż. Łukasz Dragun

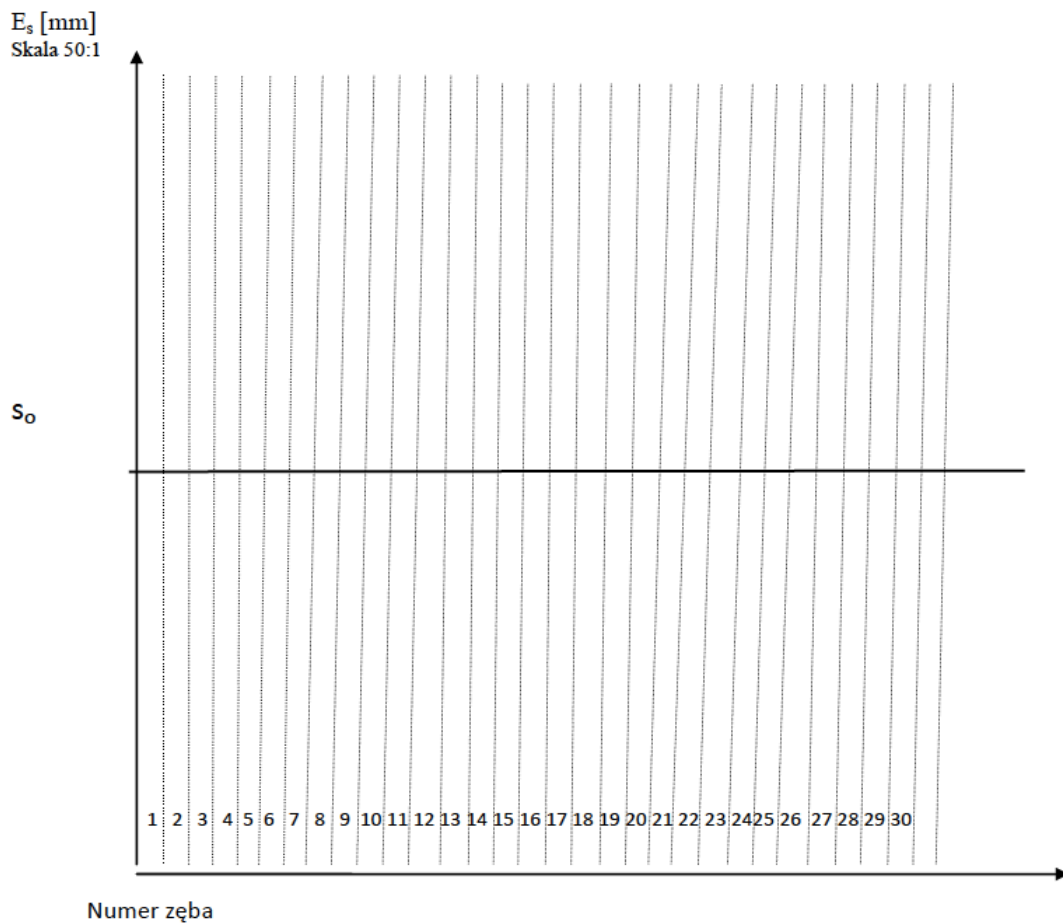
Podpis prowadzącego:

2. WYNIKI POMIARÓW BEZPOŚREDNICH:

a) TABELE - PRZYKŁAD, WYKRES ODCHYLEK POMIAROWEJ GRUBOŚCI ZĘBA OD WARTOŚCI OBLICZENIOWEJ

Numer zęba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Grubość pomiarowa zęba s [mm]												
Odchyłka E_s [mm]												
Numer zęba	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Grubość pomiarowa zęba s [mm]												
Odchyłka E_s [mm]												

Wykres odchyłek pomiarowej grubości zęba od wartości obliczeniowej.



b) ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIARÓW, WNIOSKI KOŃCOWE, BIBLIOGRAFIA, RYSUNEK

WYMAGANIA BHP

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

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

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

