

# 4

## Kontrola wymiarów

*Adam Leśniewicz*

Cel ćwiczenia:

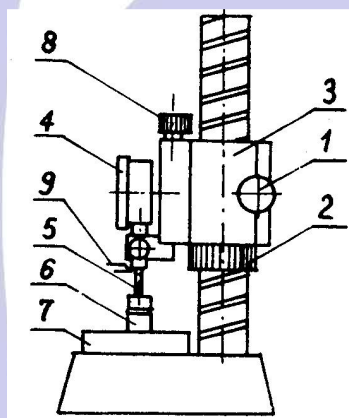
### 4.1 Pomiary przyrządami czujnikowymi

- nabycie umiejętności wykonywania pomiarów przyrządami czujnikowymi,
- utrwalenie metodyki podawania wyników pomiarów w postaci poprawnej tzn. z usuniętymi błędami systematycznymi i określoną niedokładnością pomiaru,
- poznanie zasad tolerowania sprawdzianów do pow. walcowych i oceny stanu zużycia,
- zapoznanie się z procedurą odbiorczą wrywkowej kontroli jakości wyrobów wg oceny alternatywnej badanych sztuk w próbce

Politechnika  
Warszawska

## 4.1 Pomiary przyrządami czujnikowymi

### Stanowisko pomiarowe



Rysunek 4.1.1 Podstawa pomiarowa z czujnikiem:

- 1 - pokrętło zacisku ramienia podstawy,
- 2 - nakrętka podnoszenia ramienia podstawy,
- 3 - ramię podstawy,
- 4 - czujnik,
- 5 - końcówka pomiarowa czujnika,
- 6 - stos płytek wzorcowych,
- 7 - stolik,
- 8 - pokrętło dokładnego przesuwu czujnika,
- 9 - dźwignia podnoszenia trzpienia.

### Wymagane wiadomości

1. Tolerancje i pasowania. Położenie pól tolerancji.
2. Metoda pomiarowa różnicowa.
3. Umiejętność opracowanie wyników pomiarów bezpośrednich, obarczonych błędami przypadkowymi o rozkładzie normalnym, sposobami: „klasycznym” – Gaussa i z zastosowaniem statystyki  $t$  – Studenta oraz pomiarów pośrednich metodą różniczkową.
4. Określenia podstawowych parametrów metrologicznych: zakres pomiarowy, wartość działki elementarnej, błąd wskazania, czułość
5. Ogólny schemat blokowy czujnika pomiarowego.
6. Budowa (schemat zasady działania) i podstawowe parametry metrologiczne (zakres pomiarowy, wartość działki ele-

mentarnej, błąd wskazania, nacisk pomiarowy, czułość) następujących przyrządów czujnikowych:

- czujnik zegarowy;
- średnicówka z czujnikiem zegarowym;
- czujnik indukcyjny.

7. Sprawdziany do wałków i otworów: rodzaje sprawdzianów, położenie pól tolerancji.
8. Podstawowe pojęcia z SKJ odbiorczej: partia i jej wadliwość, próbka, plan badania (jednostopniowy, wielostopniowy), charakterystyka planu badania (budowa i interpretacja), procedura opracowania planu badania, poziom kontroli, rodzaje kontroli, wadliwość dopuszczalna i wadliwość dyskwalifikująca.

#### **Wybrane nazwy i określenia**

- ⇒ **Metoda pomiarowa różnicowa** - metoda pomiarowa porównawcza oparta na porównaniu wartości wielkości mierzonej z niewiele różniącą się od niej znaną wartością tej samej wielkości i pomiarze różnicy tych wielkości [3].
- ⇒ **Zakres pomiarowy** - zakres wartości wielkości mierzonej, dla których wskazania przyrządu pomiarowego otrzymane w normalnych warunkach użytkowania i z jednego tylko pomiaru nie powinny być obciążone błędem większym od granicznego błędu dopuszczalnego [3].
- ⇒ **Wartość działki elementarnej** - wartość wielkości mierzonej odpowiadająca działce elementarnej [3].
- ⇒ **Błąd wskazania przyrządu pomiarowego** - różnica  $v_i - v_o$ ; gdzie  $v_i$  jest wartością wskazywaną przez przyrząd, zaś  $v_o$  - wartością poprawną wielkości mierzonej [3].
- ⇒ **Błąd dokładności wskazań** - wypadkowa wartość błędów narzędzia pomiarowego w określonych warunkach użytkowania, zawierająca błędy poprawności i wierności wskazań [3].
- ⇒ **Czułość narzędzia pomiarowego** - właściwość narzędzia pomiarowego dla danej wartości wielkości mierzonej wyrażająca się ilorazem przyrostu obserwowanej zmiennej  $dl$  przez odpowiedni przyrost wielkości  $dG$  [3],  $k = dl / dG$

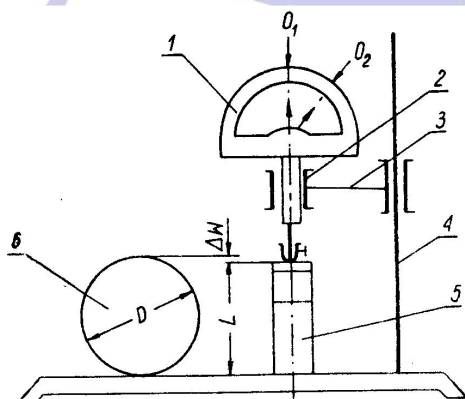
- ⇒ **Statystyczna kontrola jakości** - kontrola wyrywkowa (części jednostek produktu wchodzących w skład odbieranej partii), w której są stosowane metody statystyczne do wnioskowania o jakości partii produktu lub stabilności procesu technologicznego na podstawie wyników badania jednej lub wielu próbek [4].
- ⇒ **Partia** - ustalona ilość jednakowego produktu (np. wytworzonego w ustalonym czasie przez jednego producenta, z jednakowych materiałów, w jednakowym procesie) przewożona i przechowywana w jednakowych warunkach [4].
- ⇒ **Próbka** - zbiór jednostek produktu pobranych z partii produktu lub procesu technologicznego w celu uzyskania informacji o tej partii lub procesie, z którego próbka została pobrana [4].
- ⇒ **Plan badania** - przepis określający licznosc próbki (lub licznosci próbek) oraz wartości parametrów stanowiących podstawę do podejmowania decyzji o zgodności lub niezgodności partii produktu z wymaganiami [4].

#### **Pomiary przyrządami czujnikowymi**

Przyrządy czujnikowe pozwalają na wyznaczenie wymiaru poprzez ustalenie w procesie pomiaru odchyłki względem wymiaru wzorcowego jaki tworzy stos płytek wzorcowych, lub pierścien wzorcowy lub też wzorzec o kształcie mierzonego przedmiotu. Ten różnicowy sposób pomiaru wynika głównie ze stosunkowo małego zakresu pomiarowego czujników. Jednak wysoka dokładność czujników czyni je najbardziej przydatnymi do tworzenia różnorodnych stanowisk pomiarowych o różnym stopniu automatyzacji.

Czujnik pomiarowy 1 (rysunek 4.1.2) mocuje się w tulei chwytowej 2 podstawy pomiarowej. Pod końcówkę pomiarową czujnika podsuwa się wzorzec oparty na stoliku podstawy. Wzorcem jest najczęściej stos płytek wzorcowych 5 o wymiarze nominalnym - np. mierzonego wałka 6 lub o wymiarze określonym przez pomiar przyrządem o mniejszej dokładności - np. mikrometrem. Następnie przyrząd ustawia się na wskazanie początkowe (przeważnie zerowe) przez przesuwanie w górę lub dół ramienia 3 z czujnikiem po kolumnie 4 i ewentualnie dodatkowo, za pomocą mikroprzesuwu uchwytu 2 oraz obrotu po-

dzielni czujnika (w czujniku zegarowym) lub przez elektro-  
niczną kompensację zera (w czujniku indukcyjnym). Po unieru-  
chomieniu czujnika w tym położeniu na miejsce wzorca podsu-  
wa się mierzony element.



Rysunek 4.1.2

Schemat pomiaru, wałka  
czujnikiem zamocowanym w  
podstawie pomiarowej:

- 1 - czujnik pomiarowy,
- 2 - tuleja chwytowa,
- 3 - ramię przesuwne.
- 4 - kolumna,
- 5 - stos płytek wzorcowych,
- 6 - mierzony element.

Wynik pomiaru wymiaru D określa:

$$D = N + (O_2 - O_1) + p + e_{gr}$$

gdzie:

$N = \sum L_i$  - wymiar nominalny wzorca;

$L_i$  - nominalne wartości wymiarów płytek wzorcowych  
użytych do zestawienia wzorca;

$O_2$  - odczyt wskazania czujnika na mierzonym elemen-  
cie;

$O_1$  - odczyt wskazania czujnika na wzorcu (na ogół usta-  
wia się  $O_1=0$ );

$p$  - poprawka wskazania czujnika;

$e_{gr}$  - błąd graniczny wyznaczenia wartości D:

$e_z$  - błąd zerowania, tu błąd graniczny wymiaru wzorca  
 $e_z = eN$ ;

$e_{L_i}$  - błędy graniczne wymiarów płytek wzorcowych uży-  
tych do zestawienia wzorca;

$e_{L_i} = 0.0004 + 0.000008 * L_i$  [mm] - dla płytek klasy 2  
wg PN-83/M-53101;

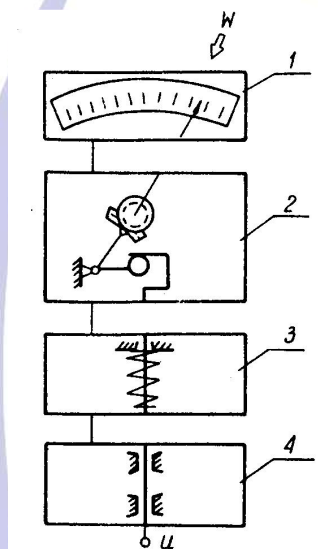
$e_w$  - graniczna wartość błędu wskazania czujnika.

$k = 2$  gdy  $O_2 \neq O_1 \neq 0$ ;  $k = 1$  gdy  $O_2 \neq 0$  i  $O_1 = 0$ ;

$k = 1$  gdy  $O_2 = 0$

$e_0$  – graniczna wartość błędu odczytu, w zależności od sposobu odczytu  $e_0 = 0,5w_e$  albo  $e_0 = 0,2w_e$  albo  $e_0 = 0$  (odczyt cyfrowy).

### Ogólna budowa przyrządów czujnikowych



Rysunek 4.1.3  
Schemat blokowy budowy czujnika pomiarowego:  
1 - urządzenie wskazujące,  
2 - przetwornik, o czułości  $k$ ,  
3 - urządzenie naciskowe,  
4 - urządzenie dotykowo-przesuwne.

Urządzenie wskazujące ma umożliwić odczytanie wskazania w systemie analogowym lub cyfrowym. Najprostsze urządzenie wskazujące składa się z podziałki i wskazówki.

Urządzenie naciskowe ma zapewnić nominalną wartość nacisku pomiarowego określonego przepisami legalizacyjnymi oraz zmniejszyć względny przyrost nacisku w zakresie wskazań lub go skompensować. Nominalny nacisk pomiarowy w czujkach jest zwykle rzędu 1 [N].

Urządzenie dotykowo-przesuwne ma zapewnić osiowe przemieszczanie (tj. bez skręceń i bocznych przemieszczeń) trzpienia pomiarowego przenoszącego mierzony impuls z mierzonego obiektu do przetwornika. Najczęściej spotykane sposoby prowadzenia trzpienia opierają się na łożyskowaniu ślizgowym (czujnik zegarowy), tocznym (głowice indukcyjne) lub na sprężynach płaskich membranowych (mikrokator).

Trzpienie pomiarowe zaopatrywane są w końcówki pomiarowe o kształcie:

- płaskim (do pomiaru elementów kulistych),
- kulistym (do pomiaru powierzchni płaskich i cylindrycznych)
- pryzmatycznym (do pomiaru powierzchni cylindrycznych).

Twardość powierzchni stykowych powinna być większa niż 60 HRC.

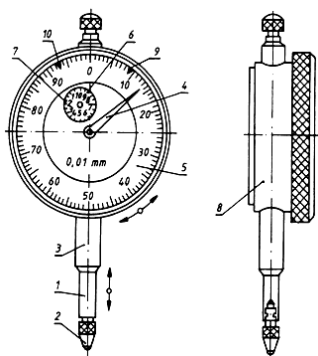
Przetwornik ma na celu przetworzenie z określoną dokładnością i według określonego prawa wartości wielkości mierzonej na wartość innej wielkości lub inną wartość tej samej wielkości. Ze względu na, typ przetwornika wyróżnia się następujące rodzaje przetworników: mechaniczne, elektryczne, fotooptyczne, pneumatyczne i inne.

Biorąc pod uwagę zasadę przetwornika pomiarowego, czujniki można podzielić następująco.

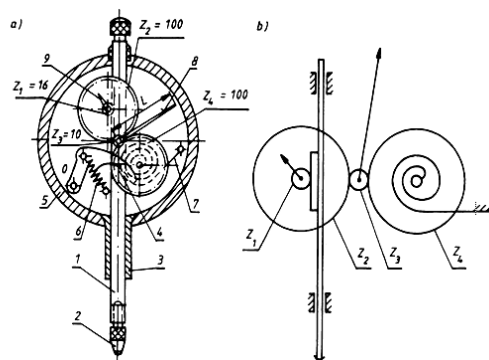
- A. Czujniki mechaniczne, w których przetwornik jest pewnym mechanizmem zamieniającym ruch końcówki pomiarowej na ruch wskazówki:
  - a) dźwigniowe,
  - b) zegarowe (z kołami zębatymi),
  - c) sprężynowe,
  - d) konstrukcji mieszanej, np. dźwigniowo-zębate.
- B. Czujniki optyczne; należą tu też mieszane konstrukcje, np. sprężynowo-optyczne.
- C. Czujniki elektryczne, w których przetwornik pomiarowy jest urządzeniem elektronicznym:
  - a) elektrostatyczne,
  - b) indukcyjne,
  - c) pojemnościowe

#### **Budowa czujnika zegarowego**

Typowym przedstawicielem czujników mechanicznych jest czujnik (rys. 4.1.4). Zawiera on nast. główne elementy: 1 - trzpień pomiarowy z wymienną końcówką 2, 3 - tuleja prowadząca trzpień, służąca jednocześnie do mocowania czujnika ( $\cdot 8h7$ ), 4 - wskazówka główna, 5 - podzielnia obrotowa z podziałką główną (obraca się ją, za pomocą radełkowanego pierścienia, przy zerowaniu czujnika), 6 - wskazówka pomocnicza, 7 - podziałka pomocnicza, 8 - obudowa czujnika, 9 i 10 - nastawne wskazówki do oznaczania odchyłek granicznych.



Rysunek 4.1.4  
Czujnik zegarowy: widok



Rys. 4.1.5. Czujnik zegarowy  
a) konstrukcja przetwornika  
b) schemat kinematyczny

Na rysunku 4.1.5a pokazane są niektóre szczegóły przetwornika czujnika zegarowego: 4 - kołeczek, o który opiera się dźwignia 5 ze sprężyną 6 powodującą nacisk pomiarowy (znane są też inne rozwiązania mechanizmu nacisku), 7 - sprężyna włosowa kasująca luzy w zazębieniach (dla zmniejszenia błędu wierności), 8 i 9 - wskazówki.

Istotnymi elementami przetwornika są koła zębate, przedstawione na schemacie kinematycznym (rysunek 4.1.5b):  $Z_1$  zazębione z zębatką na trzpieniu, osadzone na wspólnej osi z  $Z_2$  i wskazówką 9,  $Z_3$  zazębione z  $Z_2$  i osadzone na jednej osi ze wskazówką 8 oraz  $Z_4$  ze sprężyną włosową 7.

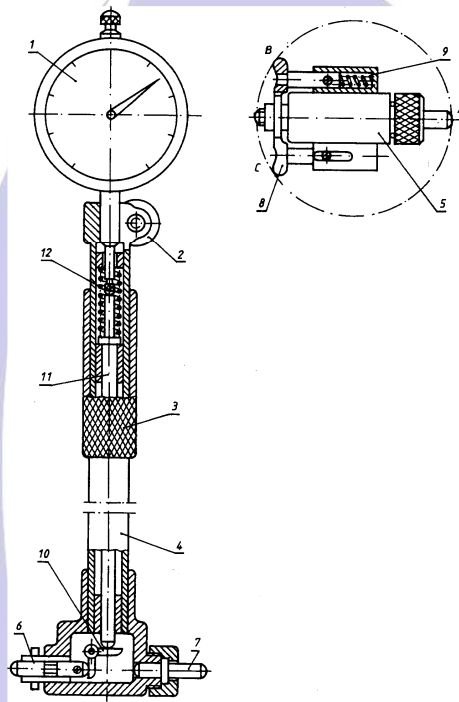
Czujniki zegarowe produkowane są z działkami elementarnymi od 0,001 do 0,01 mm i zakresami pomiarowymi odpowiednio od 1 do 10 mm. Najbardziej rozpowszechniona wersja - to czujnik o zakresie pomiarowym 10 mm, z działką elementarną 0,01 mm. Pełen obrót głównej wskazówki takiego czujnika odpowiada przesunięciu końcówki pomiarowej o 1 mm; na głównej podziałce jest więc 100 działek. Podziałka pomocnicza zawiera wtedy 10 działek o wartości 1 mm.

### Budowa średnicówki czujnikowej

Do mierzenia średnic otworów służą średnicówki z czujnikiem zegarowym, potocznie zwane „średnicówkami zegarowymi”. Średnicówka jest właściwie specyficzną oprawką dla normalnego czujnika zegarowego. Rysunek 4.1.6 przedstawia średni-



cówkę do większych otworów (średnica ponad 30 mm - średnicówki do mniejszych otworów mają inną konstrukcję).



Rysunek 4.1.6  
Średnicówka czujnikowa

Należy zwrócić uwagę, że przyrost mierzonej średnicy uwidoczni się w zmniejszeniu wskazania czujnika (wzrost wskazania czujnika następuje przy wsunięciu jego końcówki pomiarowej). Czujnik 1 jest zamocowany w korpusie 3 za pomocą zacisku 2. W dolnej części 5 przyrządu znajduje się mechanizm zmiany kierunku ruchu końcówki pomiarowej o 90° - dźwignia kątowa 10, o którą opiera się trzpień pomiarowy 11 i końcówka przesuwana 6. Druga końcówka 7 jest wymienna (zmiana zakresu pomiarowego). Mostek 8, na który działają sprężyny 9, służy do osiowania średnicówki,

opartej o powierzchnię mierzonego otworu w 3 punktach: A, B, C. Średnicówkę zeruje się po dobraniu odpowiedniej końcówki wymiennej. Do zerowania można użyć:

- płytek wzorcowych zamocowanych w uchwycie,
- mikrometru zewnętrznego nastawionego na wymiar nominalny, z zaciśniętym wrzecionem (przy mniej dokładnych pomiarach),
- specjalnego nastawiaka w postaci pierścienia o dokładnie znanej średnicy wewnętrznej (produkcja masowa, częste zerowanie średnicówki).

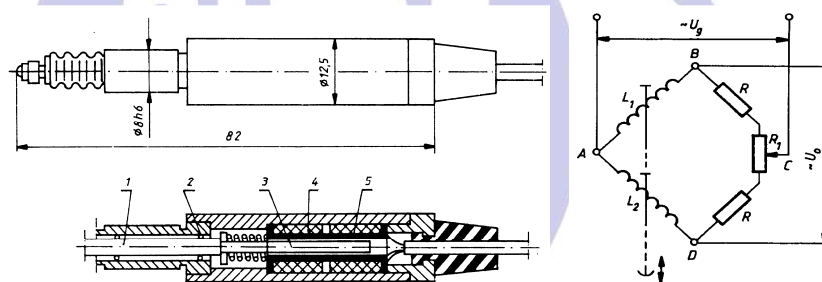
Zakres pomiarowy średnicówki zegarowej nie przekracza zwykle 1 mm, co wynika z konstrukcji mechanizmu zmiany kierunku ruchu końcówki pomiarowej. Dlatego czujniki stosowane

w średnicówkach często nie mają wskazówki pomocniczej, a tylko wskazówkę główną.

Należy o tym pamiętać wykonując pomiar czujnikiem, aby uniknąć błędu nadmiernego.

### Budowa czujnika indukcyjnego

Czujnik indukcyjny działa na zasadzie zmiany indukcyjności cewki na skutek zmiany położenia jej rdzenia, połączonego z trzpieniem pomiarowym. Rysunek 4.1.7 przedstawia budowę głowicy pomiarowej czujnika indukcyjnego krajowej produkcji (stosowane są także głowice o mniejszych wymiarach).



Rysunek 4.1.7 Głowica pomiarowa czujnika indukcyjnego i schemat mostka pomiarowego

Trzpień pomiarowy 1 przesuwają się w przewodnicy kulkowej 2 i połączony jest z rdzeniem ferrytowym 3, wspólnym dla zespołu dwóch cewek 4 i 5. Przesunięcie trzpienia w lewo (jak na rysunku) powoduje wzrost indukcyjności cewki 4, a zmniejszenie indukcyjności cewki 5 - i odwrotnie.

Mostek pomiarowy zawiera dwie równoległe gałęzie: ABC i ADC; w każdej znajduje się jedna z cewek głowicy pomiarowej (o indukcyjności  $L_1$  względnie  $L_2$ ), stały opór  $R$  oraz połowa oporności  $R_1$ . Do punktów A i C doprowadzone jest napięcie (zmienne)  $U_g$  z generatora wchodzącego w skład przyrządu. Gdyby mostek był symetryczny (tzn.  $L_1 = L_2$ ), napięcie  $U_0$  między punktami B i D byłoby równe zero.

Przesunięcie trzpienia pomiarowego powoduje zmiany indukcyjności  $L_1$  i  $L_2$ ; w rezultacie między punktami B i D pojawia się określone napięcie  $U_0$ , którego amplituda wynika z warto-

ści przesunięcia trzpienia pomiarowego, a faza (w stosunku do fazy  $U_g$ ) - o kierunku tego przesunięcia. Zmiennym oporem  $R_1$  można, w niewielkim zakresie, zerować czujnik.

Kompletny czujnik indukcyjny zawiera głowicę pomiarową osadzoną w odpowiednim uchwycie (normalnym lub specjalnym) i połączony z nią giętkim przewodem, umieszczony w oddzielnej obudowie, przyrząd wskazujący zawierający również zespoły zasilająco-przetwarzające. Urządzenie wskazujące może być analogowe lub cyfrowe; z reguły jest też wyposażone w system sygnalizacyjny przekroczenia pola tolerancji (kolorowe lampki), sterowany. Czujnik indukcyjny jest też wyposażony w gniazdo wyjścia sygnału, który może być wykorzystany do sterowania działaniem różnych urządzeń, w tym także rejestratorów wyników pomiarów.

### Parametry czujników wykorzystywanych w ćwiczeniu

| Rodzaj przetwornika      | Nazwa czujnika                    | Wartość dz. elem. $w_e$ [mm] | Zakres pom. $z_p$ [mm] | Czułość k      | Bł. wsk. $e_w$ [ $\mu$ m] (w zakresie pom.) | Nacisk pom. N [N]   |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------|---|---------------------|
| zębata                   | zegarowy MDAA 10/1                | 0,01                         | 0÷10                   | 100            | $\pm 10$ (0,5 mm)                           | $\leq 1,5$          |
|                          |                                   |                              |                        |                | $\pm 20$ (w całym)                          | $\Delta.N \leq 0,6$ |
| zębata+ramiona rozprężne | średnicówka czujnikowa MDAh 10÷18 | 0,01                         | 10÷18                  | 100            | $\pm 15$                                    | 1,5÷2               |
| sprężynowy               | MDFa 1-28                         | 0,001                        | 0,05                   | 1200           | 0,5   | 1,2÷1,6             |
| indukcyjny               | Vistronik                         | 0,001                        | $\pm 1$                | odczyt cyfrowy | $\pm 10$ ( $\pm 600 \mu$ m)                 | 0,3                 |
|                          |                                   | 0,0001                       | $\pm 0,2$              |                | $\pm 2$ ( $\pm 100 \mu$ m)                  |                     |

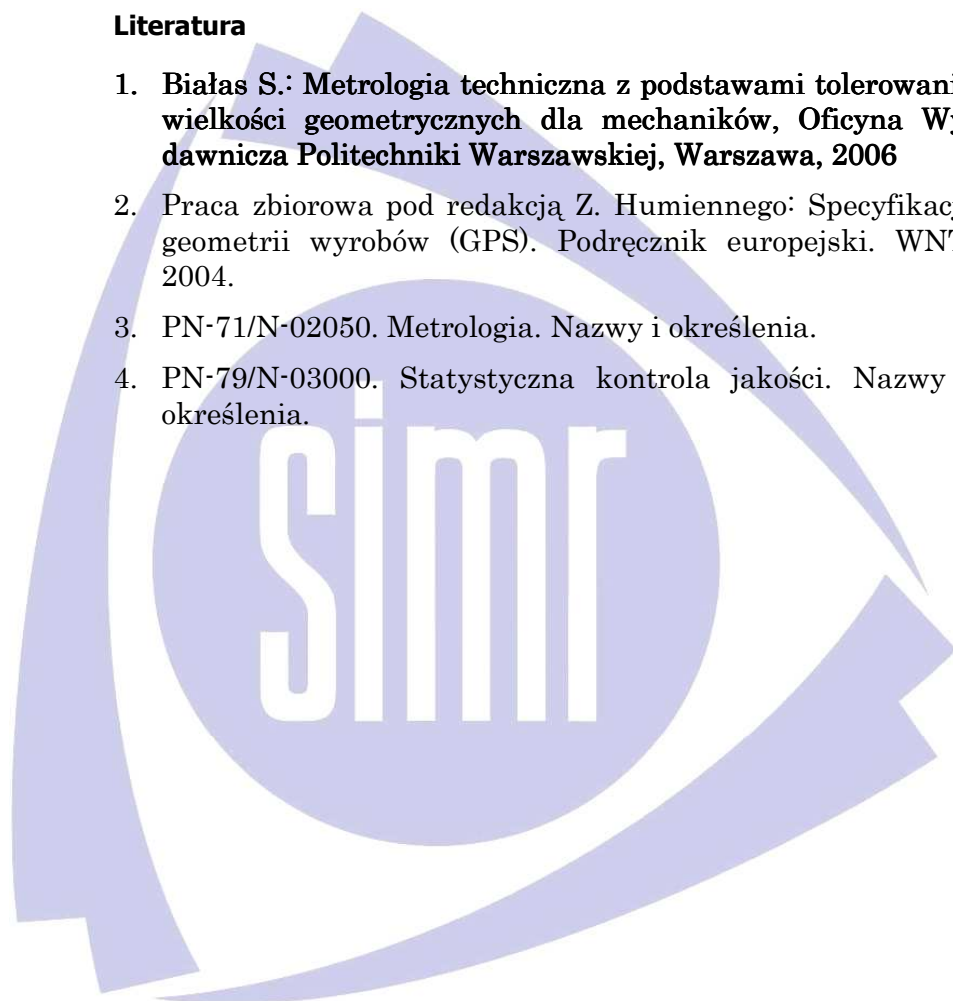
### Wykonanie ćwiczenia i opracowanie wyników

Ćwiczenie obejmuje:

1. Określenie błędu granicznego wskazań przyrządu czujnikowego
2. Kontrola wymiarów sprawdzianu do otworów przy pomocy czujnika
3. Kontrola wyrywkowa jakości metodą alternatywną zadanych wymiarów otoczki zębniaka

**Literatura**

1. Białas S.: **Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników**, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006
2. Praca zbiorowa pod redakcją Z. Humiennego: **Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS)**. Podręcznik europejski. WNT, 2004.
3. PN-71/N-02050. **Metrologia. Nazwy i określenia**.
4. PN-79/N-03000. **Statystyczna kontrola jakości. Nazwy i określenia**.



**Politechnika  
Warszawska**