



POLITECHNIKA OPOLSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji

Laboratorium Inżynierii Jakości – KWIWiJ, II-go st.

Ćwiczenie nr 1

Temat:

Statystyczna kontrola odbiorcza partii wyrobów z selekcją wyrobów na zgodne i niezgodne ze specyfikacją

Zakres ćwiczenia:

1. Wyliczyć wymiary graniczne: dolny A i górny B oraz odchyłki graniczne: dolną EI (ei) i górną ES (es) dla wymiaru tolerowanego:
 - a) 12,7k7 – szerokość płytki skrawającej,
 - b) 75js9 – długość elementu ustawczego,
 - c) 64h5 – szerokość elementu ustawczego,
 - d) $\emptyset 30ZA8$ – średnica wewnętrzna pierścienia,
 - e) $\emptyset 44e10$ – średnica zewnętrzna pierścienia.
2. Narysować zwymiarowany rysunek techniczny przedmiotu sprawdzanego.
3. Narysować szkic wymiaru tolerowanego.
4. Sprawdzić poprawność wskazań przyrządu pomiarowego:
 - a) wykonać serię 10 pomiarów wzorca o wymiarze W i zanotować wyniki pomiarów: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10}$,
 - b) wyliczyć wartość średniej arytmetycznej \bar{x} z wyników serii pomiarów, określić błąd systematyczny $\Delta_s = \bar{x} - W$ i poprawkę $\delta = -\Delta_s$,
 - c) wyliczyć średnie odchylenie kwadratowe pojedynczego pomiaru s , średnie odchylenie kwadratowe średniej arytmetycznej Sr i oszacować niepewność pomiarową $\epsilon = Sr * t_{\alpha, k}$ narzędzia pomiarowego i przedział niepewności 2ϵ dla wartości średniej.
5. Przystąpić do selekcji wyrobów z serii produkcyjnej o ile przedział niepewności wskazań narzędzia pomiarowego spełnia warunek $2\epsilon < e_p$.
Wartość współczynnika e_p przyjąć w zależności od klasy dokładności wymiaru tolerowanego.
6. Opracować protokół i wnioski.

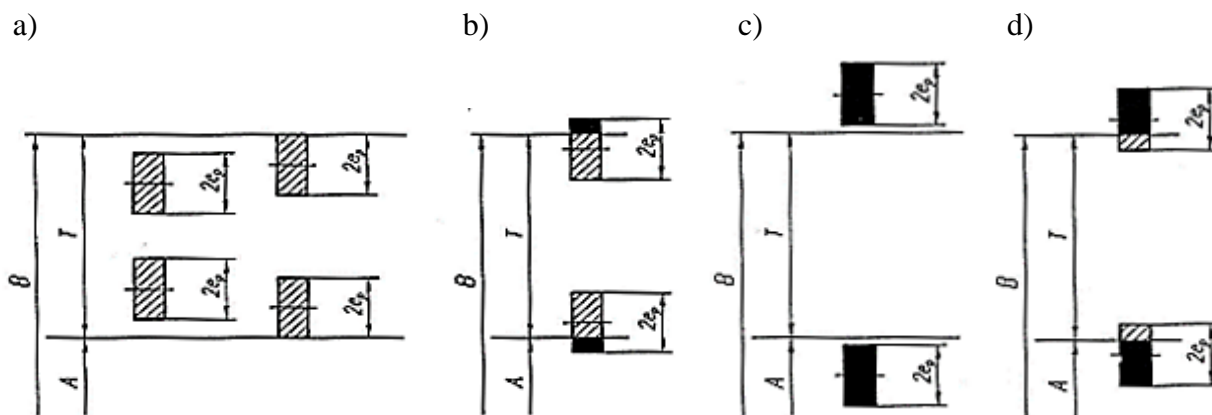
I. PODSTAWY TEORETYCZNE

OPTYMALNA NIEPEWNOŚĆ POMIARU

Na całkowite koszty wykonania określonego wymiaru wyrobu składają się:

- koszty wytwarzania K_w ,
- koszty pomiaru K_p ,
- koszty błędnych decyzji K_{bd} .

Koszty wytwarzania K_w nie zależą od niepewności pomiaru, natomiast koszty pomiaru K_p maleją ze wzrostem niepewności pomiaru (dokładniejszy pomiar wymaga doskonalszego przyrządu pomiarowego, personel musi mieć wyższe kwalifikacje, warunki pomiarów – zwłaszcza temperaturowe – powinny być dogodniejsze, czas przygotowawczy łącznie z czasem pomiaru będzie dłuższy itp.). Źródłem błędnych decyzji jest występowanie w pomiarze obszaru niepewności pomiaru $2e_p$. Koszty błędnych decyzji rosną wraz ze wzrostem niepewności pomiaru. Jeżeli wymiar zaobserwowany znajduje się w polu tolerancji T, w jednym z miejsc pokazanych na rys. 1a, nie ma wątpliwości, że wymiar został poprawnie wykonany.



Rys. 1. Decyzje podejmowane na podstawie pomiaru:

- wymiar poprawnie wykonany – wymiar zaobserwowany mieści się w polu tolerancji,
- wymiar może być wykonany poprawnie lub niepoprawnie – wymiar zaobserwowany mieści się w polu tolerancji,
- wymiar wykonany niepoprawnie – nie mieści się w polu tolerancji,
- wymiar może być wykonany niepoprawnie lub poprawnie – wymiar zaobserwowany wychodzi poza pole tolerancji.

Na rysunku 1b przedstawiono sytuację, w której wymiar zaobserwowany również znajduje się w polu tolerancji, jednak obszar niepewności pomiaru $2e_p$ wychodzi poza pole tolerancji (ciemne pole). Tym razem nie można wykluczyć, że wymiar rzeczywisty jest zawarty w tej części obszaru, która wystaje poza pole tolerancji. Jeżeli niepewność pomiaru jest mała, takie ewentualne przekroczenie przez wymiar rzeczywisty pola tolerancji być może nie będzie miało istotnego znaczenia, względnie powstałe z tego powodu straty będą niewielkie. Gdyby jednak niepewność była duża, to mimo że wymiar został uznany za poprawny istnieje realne

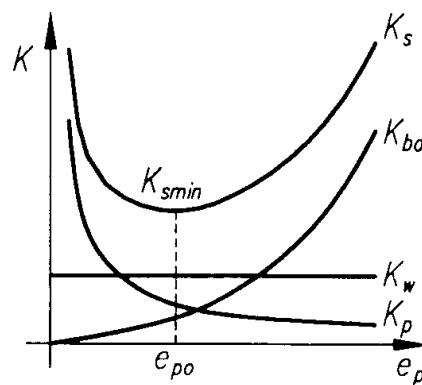
niebezpieczeństwo, że jeśli wymiar rzeczywisty wykroczy poza pole tolerancji, to spowoduje tym zmniejszenie wartości eksploatacyjnej wyrobu lub zakłócenia podczas montażu. Do kosztów przyjęcia braku należy zaliczyć koszty demontażu z urządzenia wyrobu wadliwego i ponownego montażu wyrobu dobrego, koszty ewentualnej awarii i unieruchomienia urządzenia, koszty spowodowane postojem.

Odmianą jakościowo sytuację przedstawiono na rys. 1c. Wynik pomiaru wykroczył poza pole tolerancji T, zatem wymiar został niepoprawnie wykonany. Na rys. 1d wynik pomiaru znajduje się poza polem tolerancji, wymiar zostanie więc zakwalifikowany jako niepoprawnie wykonany. Widać jednak, że tym razem część obszaru niepewności pomiaru $2e_p$ wchodzi w pole tolerancji T. Nie można zatem wykluczyć, że wymiar rzeczywisty jest zawarty w obszarze niepewności pomiaru wspólnym z polem tolerancji (zakreskowane pole). Jeżeli tak jest, wymiar zostanie odrzucony jako niewłaściwie wykonany, gdy w istocie tak nie jest. Jest tu popełniana błędna decyzja. Koszty odrzucenia dobrego wyrobu składają się z jego wartości w danej fazie produkcji oraz ewentualnych kosztów uruchomienia powtórnej produkcji.

Z analizy wynika, że źródła strat są dwojakie i ich koszty zwiększają się wraz ze wzrostem niepewności pomiaru. Sumę kosztów pierwszego (rys. 1b) i drugiego (rys. 1d) pochodzenia nazywa się kosztami błędnych decyzji.

Koszty wytwarzania K_w , koszty pomiaru K_p i koszty błędnych decyzji K_{wbd} można zestawić łącznie w jednym układzie współrzędnych, tworząc krzywą kosztów sumarycznych K_s (rys. 2).

$$K_s = K_w + K_p + K_{bd} \quad (1)$$



Rys. 2. Koszty sumaryczne wykonania wymiaru tolerowanego K_s , będące sumą kosztów wytwarzania K_w , kosztów pomiaru K_p i kosztów błędnych decyzji K_{bd} ; najniższym kosztem sumarycznym K_{smin} odpowiada optymalna wartość niepewności pomiaru e_{po} .

Przy wyborze niepewności pomiaru e_p należy przyjąć przypadek niepewności pomiaru optymalnej e_{po} , odpowiadającej najmniejszemu kosztowi produkcji K_{smin} . Podstawą wyznaczania kosztów błędnych decyzji są prawdopodobieństwa wystąpienia tych błędów. Do ich wyznaczenia, przy znajomości rozkładu $f_1(x)$ wymiarów produkowanych wyrobów oraz decydującego o niepewności pomiaru rozkładu $f_2(x)$ błędów pomiaru, prowadzi następujące postępowanie. Wyznacza się rozkład $f_3(x)$ wymiarów przedmiotów uznanych za dobre, tzn.

przedmiotów, których wymiary zaobserwowane znalazły się w przedziale wyznaczonym przez wymiary graniczne A i B

$$f_3(x) = f_1(x) \int_{A-x}^{B-x} f_2(y) dy$$

i prawdopodobieństwo błędnego uznania tych wyrobów za dobre

$$P_1 = \int_{-\infty}^A f_3(x) dx + \int_B^{\infty} f_3(x) dx$$

Następnie wyznacza się rozkład $f_4(x)$ wymiarów wyrobów uznanych za złe

$$f_4(x) = f_1(x) \left(\int_{-\infty}^{A-x} f_2(y) dy + \int_{B-x}^{\infty} f_2(y) dy \right)$$

i prawdopodobieństwo błędnego uznania tych wyrobów za złe

$$P_2 = \int_A^B f_4(x) dx$$

Przeprowadzenie pełnej analizy optymalizacyjnej jest uzasadnione tylko w przypadkach produkcji wielkoseryjnej i masowej oraz kontroli ważnych części. W innych przypadkach stosuje się uproszczony sposób postępowania, oparty na wieloletnich doświadczeniach. Często w budowie maszyn (klasy dokładności 5÷18) podstawą doboru przyrządów pomiarowych jest zasada, aby współczynnik $\alpha = e_p/T$ był rzędu 0,1÷0,2, przy czym wyższe wartości współczynników przyjmuje się dla dokładniejszych wymiarów (mniejszych tolerancji). W szczególności dla wymiarów tolerowanych w klasach dokładności 9 do 18 przyjmuje się $e_p \approx 0,1T$, a następnie dla klas:

$$8 - e_p \approx 0,125 T,$$

$$7 - e_p \approx 0,15 T,$$

$$6 - e_p \approx 0,175 T,$$

$$5 - e_p \approx 0,2 T.$$

W klasach dokładności 01 do 4 należy dokonać pełnej analizy spodziewanych niepewności pomiaru, dopuszczając – w razie potrzeby – współczynnik $\alpha > 0,2$.

Przykład 1.

Należy dobrać przyrząd pomiarowy w celu zmierzenia średnic serii krótkich wałków $\emptyset 24h9$ o masie $m_p \approx 0,1 \text{ kg}$. Tolerancja $IT9 = 52 \mu\text{m}$. Średnica wałka w postaci tolerowanej liczbowo: $24_{-0,052}^0$. Dla 9 klasy dokładności powinno być $e_p \approx \pm 0,1T = \pm 5,2 \mu\text{m}$, tzn. błędy graniczne dopuszczalne przyrządu pomiarowego $u \approx 5,2 \mu\text{m}$.

Z analizy powyższych danych wynika następująca informacja techniczno-metrologiczna:

- wymiar mierzony jest wymiarem zewnętrznym,
- podczas pomiaru przedmiot będzie trzymany palcami lub oparty na stoliku pomiarowym ($m_p < m_n$),
- odbiór informacji o mierzonym wymiarze – technika stykowa z naciskiem pomiarowym,

- wartość wymiaru nominalnego $D = 24 \text{ mm}$.

Wobec tego odpowiednim przyrządem pomiarowym będzie mikrometr zewnętrzny o zakresie pomiarowym 0÷25 mm. Przed ostatecznym wyborem należy sprawdzić, czy jest spełnione kryterium optymalnej niepewności pomiaru. Błędy graniczne pomiaru mikrometrem zewnętrznym oblicza się według wzoru:

$$u = \left(4 + \frac{L}{40}\right) \mu\text{m}$$

gdzie:

L – mierzona długość w mm.

Zatem

$$u = \left(4 + \frac{24}{40}\right) \mu\text{m} = \pm 4,6 \mu\text{m}$$

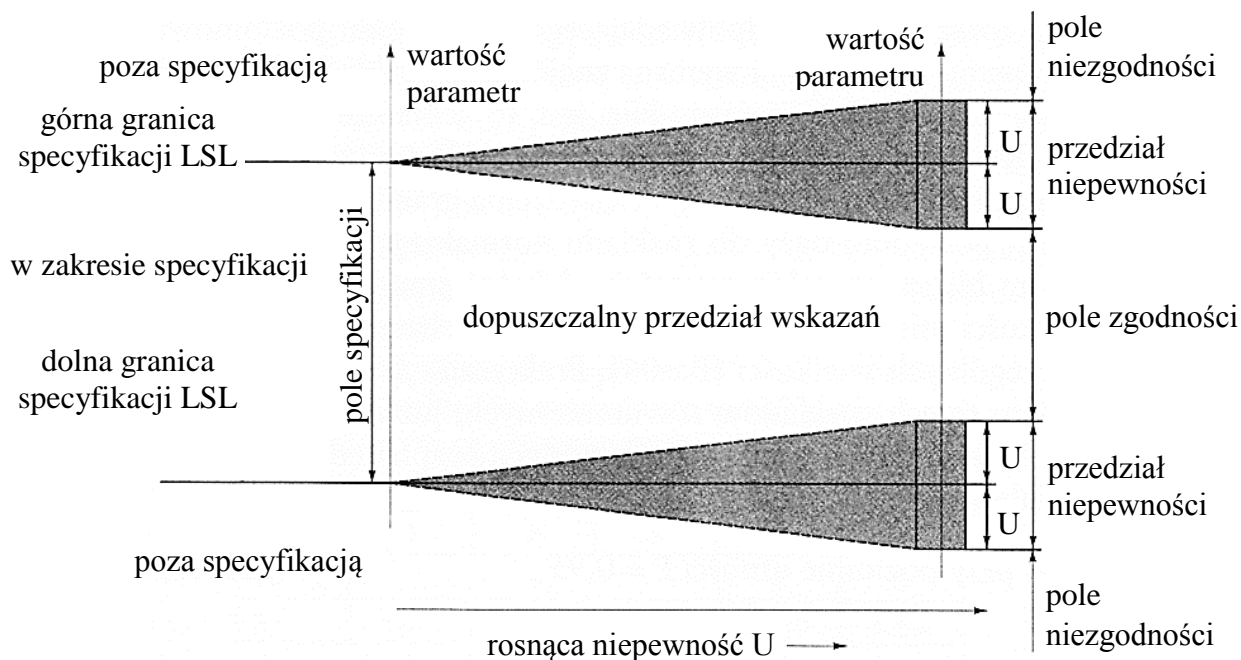
Wartość u jest nieco mniejsza od zalecanej niepewności pomiaru, wobec tego pomiary można wykonać mikrometrem zewnętrznym.

Zgodnie z definicją wymiarów granicznych i wobec spełnienia kryterium optymalnej niepewności pomiaru, wszystkie średnice wałków, których wyniki pomiarów x uzyskane z pomiaru mikrometrem będą zawarte w przedziale domkniętym określonym wymiarami granicznymi od A (23,948 mm) do B (24,000 mm), należy uznać za poprawnie wykonane.

KONSEKWENCJE KONTROLI WYROBÓW

Mierzonych wartości nie można wyznaczyć bez pewnego stopnia niepewności pomiarowej. Przedział niepewności oznacza pewną strefę wokół wyniku pomiaru, zawierającą nieznaną wartość poprawną na pewnym statystycznym poziomie ufności. Jeśli otrzymano w pomiarze wartość, która jest mniejsza od wartości granicznej o mniej niż niepewność pomiaru, oznacza to brak realnej informacji o tym, czy wartość poprawna znajduje się w granicach specyfikacji, czy poza nimi. Tylko wtedy można ocenić mierzoną właściwość, jeśli wynik pomiaru znajduje się w polu zgodności (wymaganie jest spełnione) albo w polu niezgodności (wymaganie nie jest spełnione) – rys 3.

Należy jednak podkreślić, że podczas oceny wyników pomiaru niepewność liczy się zawsze na niekorzyść tej strony, na której spoczywa ciężar dowodu. Dostawca, który pragnie wykazać, że jego wyroby są zgodne ze specyfikacją, może dostarczać tylko te, których wyniki pomiaru mieszczą się w polu zgodności. Jeśli jednak odbiorca chce udowodnić, że dana właściwość wyrobu nie mieści się w zakresie specyfikacji, musi wykazać, że wynik pomiaru leży w polu niezgodności. Jeśli wynik pomiaru jest w przedziale niepewności, ani odbiorca nie może odrzucić wyrobu, ani dostawca udowodnić prawidłowości wyrobu. W takim przypadku dalsze losy wyrobu mogą być jedynie uzgodnione w umowie między dostawcą, a odbiorcą. Ponieważ przedział niepewności jest niekorzystny zarówno dla dostawcy, jak i odbiorcy, obie strony starają się metodami metrologii technicznej zmniejszyć niepewność pomiaru. Dawnej praktyki pomijania niepewności pomiaru, jeśli jest ona wystarczająco mała (np. 1/10 szerokości pola specyfikacji) nie można już stosować.



Rys. 3. Konsekwencje niepewności podczas oceny wyników pomiaru

Powyższe zasady zostały ustalone w normie PN-EN ISO 14253-1, w której opracowano reguły orzekania zgodności lub niezgodności ze specyfikacją. Norma PN-EN ISO 14253-1 tolerancję wymiaru przedmiotu w metrologii długości i kąta nazywa specyfikacją. Wartości graniczne tej tolerancji to granica górna specyfikacji USL (upper specification limit) oraz granica dolna specyfikacji LSL (lower specification limit).

Na rys. 3 pokazano także inny efekt niepewności pomiarowej związany z procesem produkcji. Dla zapewnienia, że wyprodukowane wyroby o właściwościach (parametrach) zawartych w polu zgodności są słusznie uznane za zgodne ze specyfikacją należy ograniczyć tolerancję roboczą wykorzystywaną w procesie technologicznym odejmując od pola specyfikacji podwójną wartość niepewności pomiarowej. Gdyby właściwość wyprodukowanego wyrobu miała wartość nie mieszczącą się w polu zgodności, producent nie mógłby wykazać zgodności wyrobu ze specyfikacją. Wyrób wymagałby dodatkowych pomiarów, zanim mógłby zostać wykorzystany. Jeśli niepewność pomiaru nie przekracza 1/10 tolerancji podanej w specyfikacji, tylko 80% pola specyfikacji można wykorzystać w procesie technologicznym. Również z tych powodów dąży się do zmniejszania niepewności pomiaru, jak tylko jest to możliwe.

Literatura:

1. Jakubiec W., Malinowski J.; Metrologia wielkości geometrycznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.
2. Humienny Z., Osanna P. H., Tamre M., Weckenmann A., Blunt L., Jakubiec W.: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Podręcznik europejski. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.

II. Protokół z przeprowadzenia zadania



Rys. 1. Zwymiarowany rysunek techniczny przedmiotu sprawdzanego

Wymiar tolerowany:



Rys. 2. Szkic wymiaru tolerowanego

Odchyłki graniczne:

- dolna EI (ei) =
- górna ES (es) =

Wymiary graniczne:

- dolny A = N + EI (ei) =
- górny B = N + ES (es) =

Tolerancja:

$$T = B - A = \dots\dots\dots$$

Przyrząd pomiarowy:

Tabela 1. Wyniki sprawdzania poprawności wskazań przyrządu pomiarowego

x_i	Wymiar zaobserwowany	Błąd pozorny $\Delta_i = x_i - \bar{x}$	Błąd pozorny do kwadratu $\Delta_i^2 = (x_i - \bar{x})^2$
x_1			
x_2			
x_3			
x_4			
x_5			
x_6			
x_7			
x_8			
x_9			
x_{10}			
	$\bar{x} =$		$\sum \Delta_i^2 =$

Płytką wzorcowa o wymiarze: $W =$

Błąd systematyczny Δ_s :

$$\Delta_s = \bar{x} - W$$

$$\Delta_s = \dots\dots\dots$$

Poprawka δ :

$$\delta = -\Delta_s$$

$$\delta = \dots\dots\dots$$

Średnie odchylenie kwadratowe pojedynczego pomiaru s :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum \Delta_i^2}$$

$$s = \dots\dots\dots$$

Średnie odchylenie kwadratowe średniej arytmetycznej S_r :

$$S_r = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$S_r = \dots\dots\dots$$

Wartość $t_{\alpha,k}$ odczytana z tabeli rozkładu t Studenta:

dla $\alpha = 0,05$ i $k = 9$

$$t_{\alpha,k} = \dots\dots\dots$$

$$\mathcal{E} = S_r * t_{\alpha,k}$$

$$\mathcal{E} = \dots\dots\dots$$

Przedział niepewności dla wartości średniej $2\mathcal{E}$:

$$2\mathcal{E} = \dots\dots\dots$$

Warunek spełnienia niepewności wskazań przyrządu pomiarowego:

dla klasy dokładności:

$$9 \text{ do } 18 - e_p \approx 0,1T,$$

$$8 - e_p \approx 0,125 T,$$

$$7 - e_p \approx 0,15 T,$$

$$6 - e_p \approx 0,175 T,$$

$$5 - e_p \approx 0,2 T.$$

$$2\mathcal{E} < \dots\dots\dots T$$

$$T = \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots < \dots\dots\dots$$

Tabela 2. Wyniki selekcji wymiarowej

Nr próby	Wymiar						Uwagi
	odczytany	poprawka δ	poprawiony	zgodny	niezgodny		
					naprawialny	nienaprawialny	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							

Tabela 2 cd. Wyniki selekcji wymiarowej

Nr próby	Wymiar						Uwagi	
	odczytany		poprawiony	zgodny	niezgodny			
					naprawialny	nienaprawialny		
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35		poprawka δ						
36								
37								
38								
39								
40								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								
Σ								

Analiza wyników i wnioski

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....