

Technologia wytwarzania elementów maszyn, urządzeń i narzędzi

Prowadzący

mgr inż. Adam Goździewicz

Tolerancje i pasowania

Pojęcia podstawowe

Tolerancje i pasowania

Podczas projektowania konstruktor określa wymiary rysowanych przedmiotów. Sposób umieszczenia wymiarów na rysunku technicznym został omówiony w rozdziale 1.9. W czasie wykonywania tych przedmiotów na obrabiarkach oraz przy pomiarach występują błędy, które w efekcie powodują, że rzeczywiste wymiary odbiegają od wymiarów określonych przez konstruktora. W związku z tym konstruktor, przewidując występowanie błędów, musi podać dwa graniczne wymiary, między którymi powinien zmieścić się rzeczywisty wymiar wykonanego przedmiotu. W języku technicznym oznacza to, że należy założyć **wymiar nominalny** (wyjściowy, wstępnie określony przez konstruktora) oraz **odchyłki** od tego wymiaru, **czyli górny i dolny wymiar graniczny**. Różnicę między nimi nazywamy tolerancją:

$$T = B - A \tag{3.1}$$

gdzie:

B – górny wymiar graniczny,

A – dolny wymiar graniczny.

Górny wymiar graniczny B jest największym dopuszczalnym wymiarem przedmiotu. Przekroczenie tego wymiaru oznacza, że wykonany przedmiot będzie wadliwy. Dolny wymiar graniczny A jest najmniejszym dopuszczalnym wymiarem przedmiotu. Jeżeli wykonany przedmiot ma wymiar mniejszy od dopuszczalnego, to będzie on również wadliwy. Jak stąd wynika, wymiary A i B tworzą przedział zamknięty, w którym muszą się zmieścić wszystkie poprawne wymiary przedmiotu. Tolerancja jest zawsze dodatnia, ponieważ górny wymiar graniczny jest zawsze większy od dolnego wymiaru granicznego.

Nie dla każdego wymiaru obowiązuje tolerancja jego wykonania. Są wymiary, które nie mają istotnego znaczenia dla funkcji danego elementu. Nazywa się je swobodnymi i na rysunku nie podaje dla nich pola tolerancji. Jednak w warunkach ścisłego współdziałania dwóch elementów muszą być zachowane takie wymiary, które umożliwią prawidłową współpracę. Stąd wynikają zasady tolerowania. Zwykle przy współpracy dwóch elementów jeden z nich pracuje powierzchnią zewnętrzną (nazywa się go wałkiem, a przy oznaczeniach jego wymiarów używa symbolu w), a drugi powierzchnią wewnętrzną (ten jest nazywany otworem, a w oznaczeniach jego wymiarów używa się symbolu o).

Podczas wymiarowania elementów na rysunku nie posługujemy się wymiarami granicznymi, ale wymiarem nominalnym i odchyłkami od tego wymiaru. Różnicę algebraiczną między wymiarem górnym i odpowiadającym mu wymiarem nominalnym nazywamy odchyłką górną es , ES . Różnicę algebraiczną między wymiarem dolnym a odpowiadającym mu wymiarem nominalnym nazywamy odchyłką dolną ei , EI .

Odchyłki górne są określone wzorami:

$$es = B_w - N \text{ dla wałka,}$$

$$ES = B_o - N \text{ dla otworu.}$$

Odchyłki dolne określa się odpowiednio:

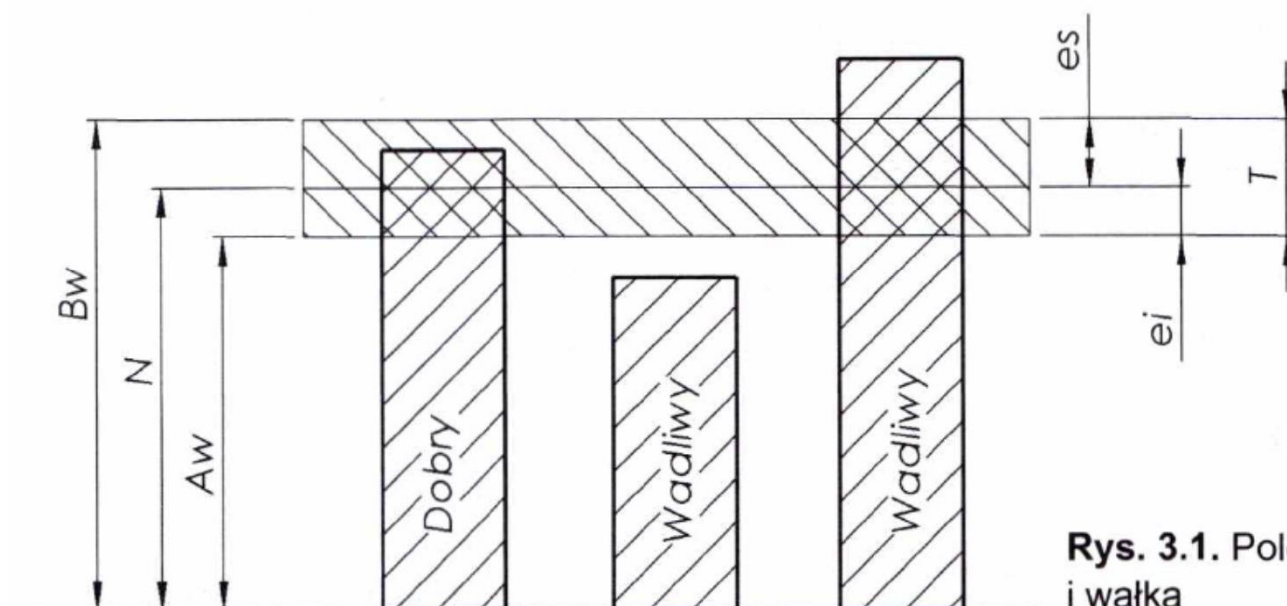
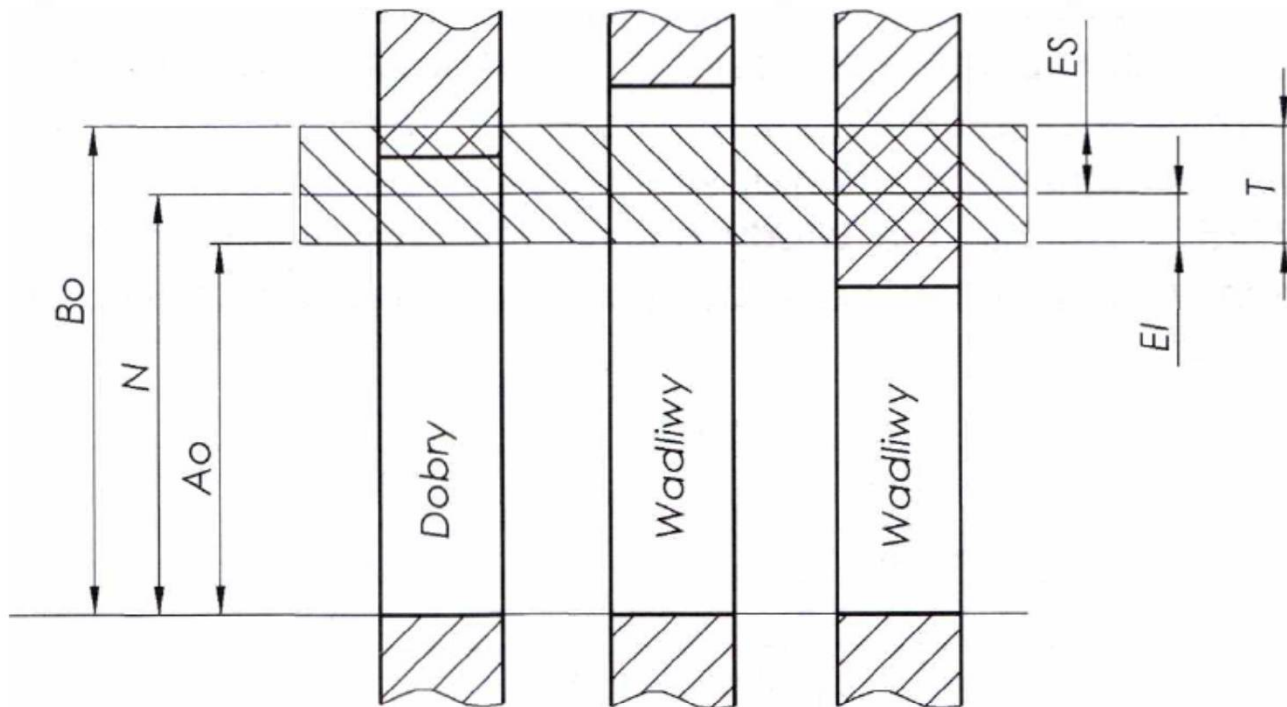
$$ei = A_w - N \text{ dla wałka,}$$

$$EI = A_o - N \text{ dla otworu.}$$

Jak z wynika z tych wzorów, w opisach charakteryzujących wałek stosuje się małe litery, a dla otworów duże litery. Wymiar nominalny dla współpracujących elementów jest zawsze ten sam i oznaczany dużą literą alfabetu N . Podane zależności, dotyczące tolerancji, przedstawiono na rysunku 3.1.

Prawdziwe są również zależności:

$$T = es - ei \text{ oraz } T = ES - EI$$



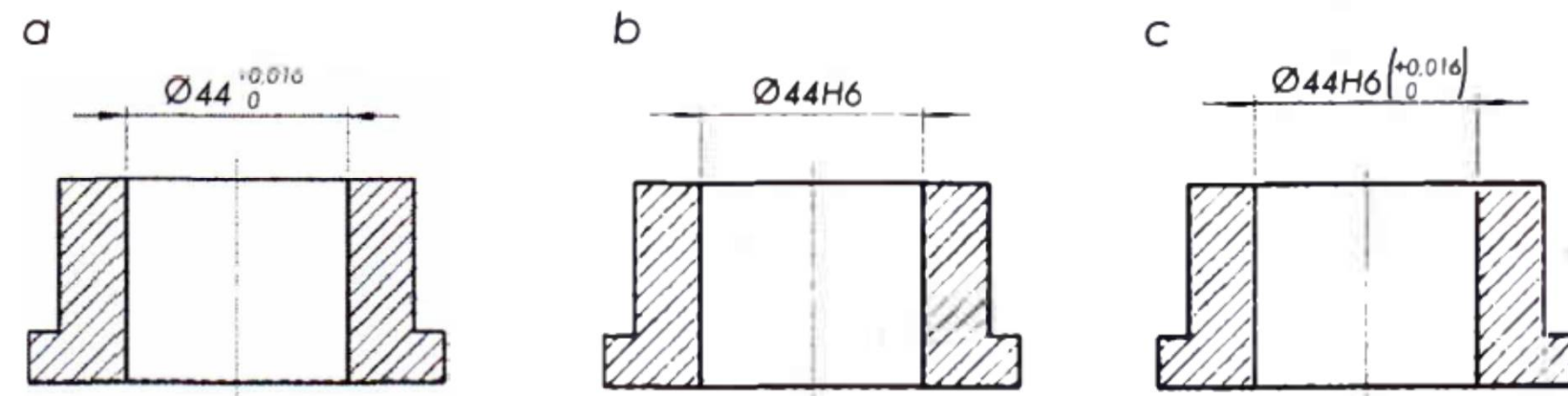
Rys. 3.1. Pole tolerancji dla otworu i wałka

Położenie pola tolerancji względem wymiaru nominalnego może być:

- symetryczne, gdy odchyłki dolna i górna są jednakowe, a ich znaki są różne, np. $21 \pm 0,02$;
- asymetryczne jednograniczne, gdy jedna z odchyłek jest równa 0, np. $21^{+0,01}$;
- asymetryczne dwustronne, gdy zarówno wartości, jak i znaki odchyłek są różne, np. $21^{+0,01}_{-0,03}$;
- jednostronne, gdy odchyłki mają różne wartości, ale jednakowe znaki, np. $21^{+0,05}_{+0,01}$.

Użyty w przykładach sposób opisu pola tolerancji wyraźnie określa odchyłki, a więc i pole tolerancji. Używa się go najczęściej przy tzw. tolerowaniu swobodnym. Konstruktor sam narzuca sposób tolerowania wymiaru. Najczęściej jednak korzysta z gotowych wartości tolerancji, zebranych w normach PN-EN 20286-2:1996 (dla wymiarów od 3 do 3150 mm) oraz PN-M-02106:1991 (dla wymiarów powyżej 3150 mm). W tym przypadku zapis będzie wyglądał nieco inaczej, np. 21k5.

Dla wymiaru 21k5 w tabeli znormalizowanych odchyłek odczytuje się wartości. Są to wartości odchyłek podane w μm (dla przypomnienia $1\text{ mm} = 1000\text{ }\mu\text{m}$). W przeliczeniu na milimetry odchyłka wyniesie $^{+0,011}_{+0,002}$. Wykonywany wałek będzie więc musiał mieć wymiar w zakresie 21,002 mm do 21,011 mm. Aby ułatwić pracownikowi poprawne wykonanie elementu, stosuje się zapis łączący dwa poprzednie, czyli: $21\text{k}5(^{+0,011}_{+0,002})$. Nie ma wtedy potrzeby wyszukiwania wartości odchyłek w tablicach. Wszystkie trzy sposoby opisu wymiaru tolerowanego pokazano na rysunku 3.2.



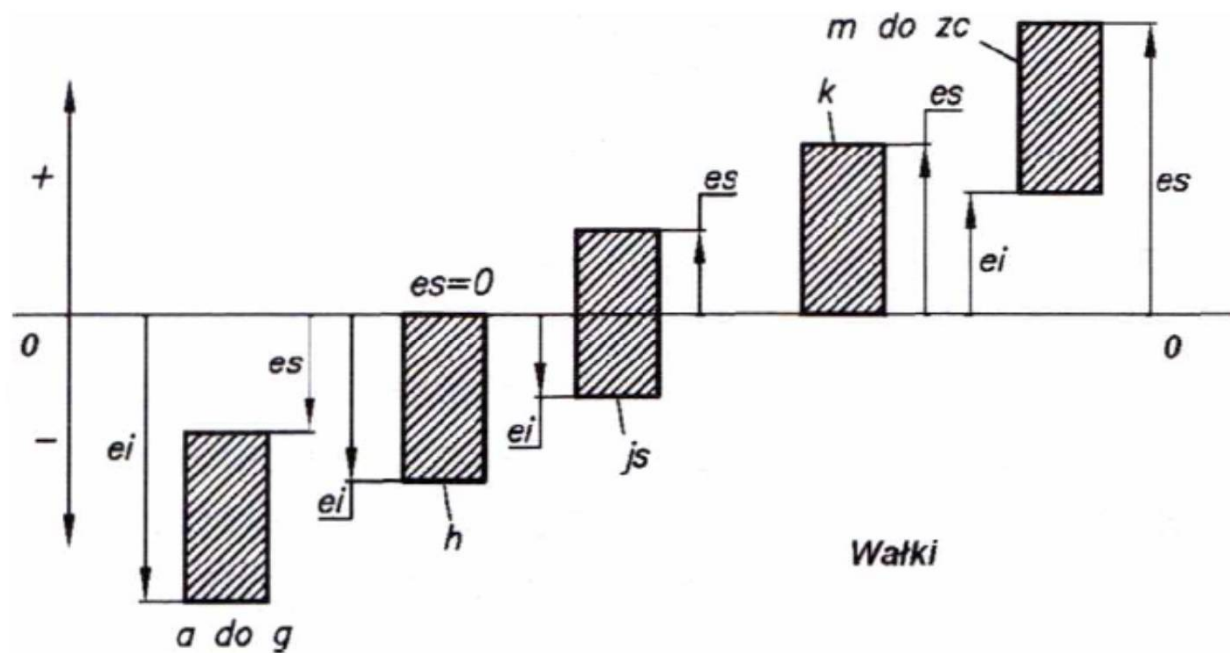
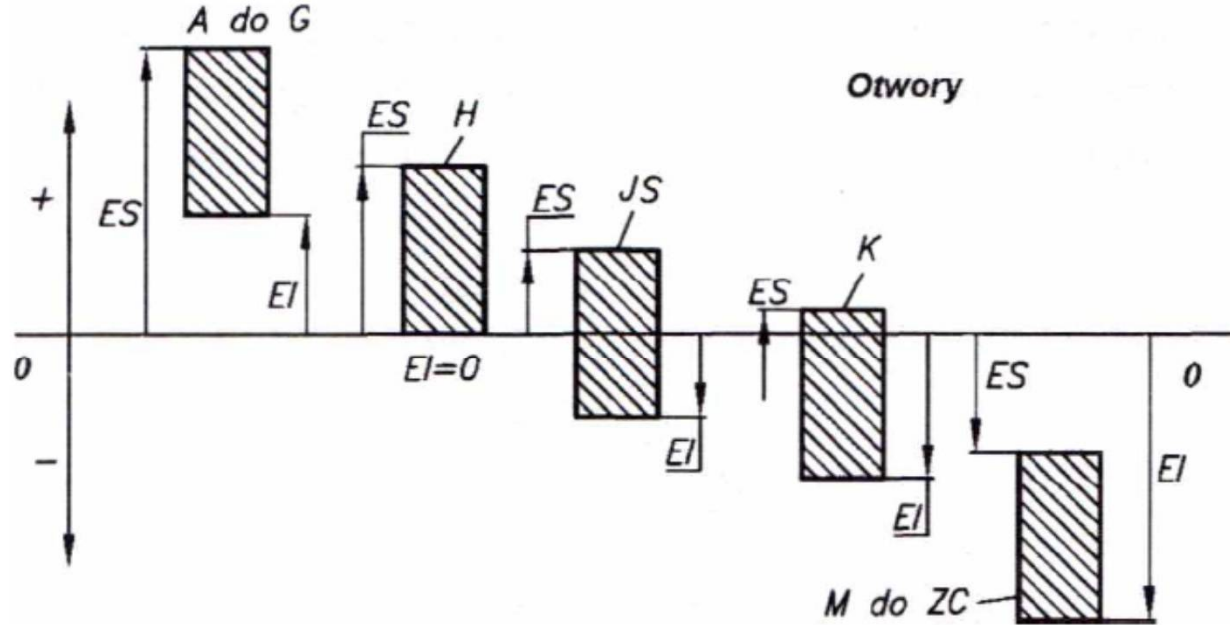
Rys. 3.2. Sposoby opisu tolerancji
a – swobodny, b – za pomocą symbolu, c – mieszany

Norma PN-EN 20286-2 przewiduje 20 klas dokładności: od IT1 do IT18 oraz klasy dokładności IT0, IT01 (ISO-286-1). Mają one następujące zastosowanie:

- klasy IT0, IT01, IT1... IT5, jako najdokładniejsze, są stosowane dla narzędzi pomiarowych, urządzeń precyzyjnych itp.;
- klasy IT6... IT11, jako średnio dokładne, są stosowane dla części maszyn;
- klasy IT12... IT18 są najmniej dokładne.

Jak łatwo zauważyć, im wyższa liczba, tym większa tolerancja wykonania wyrobu, a więc mniejsza jego dokładność. Przy doborze klasy wykonania należy wziąć pod uwagę przeznaczenie danego elementu, warunki jego pracy oraz koszt wykonania (rosnący przy zwiększeniu dokładności). Konstruktor powinien uwzględnić wszystkie te aspekty, aby wybrać optymalne rozwiązanie. Nie należy zbyt mocno zacieśniać pola tolerancji.

Symbol literowy (np. H) określa położenie pola tolerancji względem wymiaru nominalnego. Jako podstawowe przyjęto położenie, w którym jedna z odchyłek ma wartość zero, a druga określa wymiar wchodzący w głąb materiału. Tak więc dla wałka wymiar maksymalny będzie równy nominalnemu, a minimalny będzie mniejszy od nominalnego. W przypadku otworu wymiar minimalny będzie równy nominalnemu, a maksymalny będzie większy. Do oznaczenia położenia podstawowego używamy litery H dla otworów i h dla wałków. Litery od początku alfabetu do H oznaczają, że w przypadku otworu obydwie odchyłki będą dodatnie, czyli otwór będzie zawsze większy od nominalnego. Litery po H do końca alfabetu określają położenie odchyłek na zewnątrz materiału. W takim przypadku otwór zawsze będzie mniejszy od nominalnego. Litera h rozdziela litery z przodu alfabetu, oznaczające położenie pól tolerancji w głąb materiału dla wałka, od tych z końca, które oznaczają pola tolerancji leżące na zewnątrz materiału (rys. 3.4).



Rys. 3.4. Rozkład pól tolerancji

Z rysunku przedstawiającego rozkład pól tolerancji można wyciągnąć następujące wnioski dotyczące sposobu oznaczania.

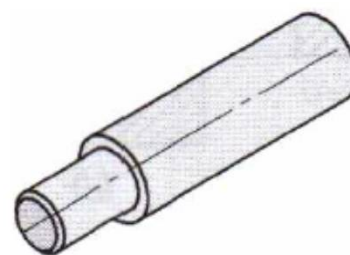
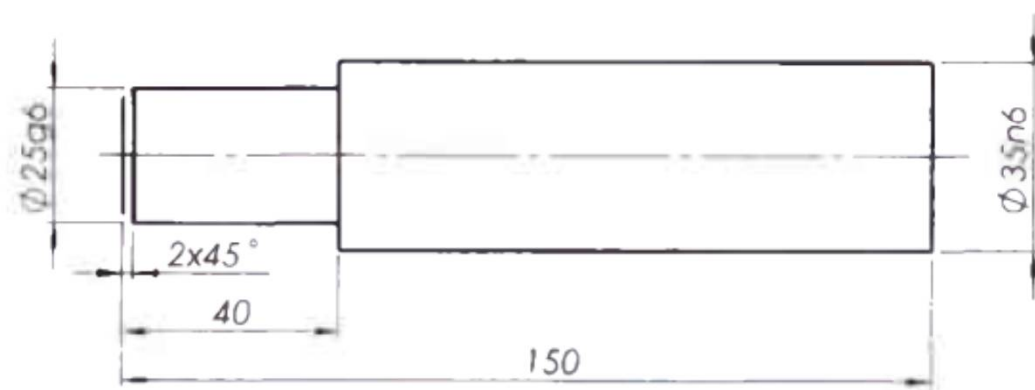
Tolerancje dla otworów:

- od *A* do *G*, gdy oba wymiary graniczne są większe od nominalnego;
- *H*, gdy wymiar graniczny górny jest większy od wymiaru nominalnego, a dolny jemu równy;
- *J*, gdy wymiar nominalny leży pomiędzy wymiarami granicznymi dolnym i górnym;
- *K*, gdy wymiar graniczny dolny jest mniejszy od wymiaru nominalnego, a górny jemu równy;
- tolerancje od *M* do *Z*, gdy oba wymiary graniczne są mniejsze od nominalnego.

Tolerancje dla wałków:

- *a* do *g*, gdy oba wymiary graniczne są mniejsze od nominalnego;
- *h*, gdy wymiar graniczny dolny jest mniejszy od wymiaru nominalnego, a górny jemu równy;
- *j*, gdy wymiar nominalny leży pomiędzy wymiarami granicznymi dolnym i górnym;
- *k*, gdy wymiar graniczny górny jest większy od wymiaru nominalnego, a dolny jemu równy;
- *m* do *z*, gdy oba wymiary graniczne są większe od nominalnego.

Wartości odchyłek dla różnych wymiarów odpowiadające stosowanym symbolom są zamieszczone w tablicach zawartych w normach PN-EN 20286-2:1996 oraz PN-M-02106:1991.



Rys. 3.5. Przykład wałka z wymiarami tolerowanymi

Pasowania

Skojarzenie dwóch elementów, np. tulei z wałkiem, tworzące połączenie, w którym wymiary nominalne współpracujących średnic wałka oraz otworu są jednokowe i tolerowane, nazywamy **pasowaniem**. Istnieją następujące rodzaje pasowań.

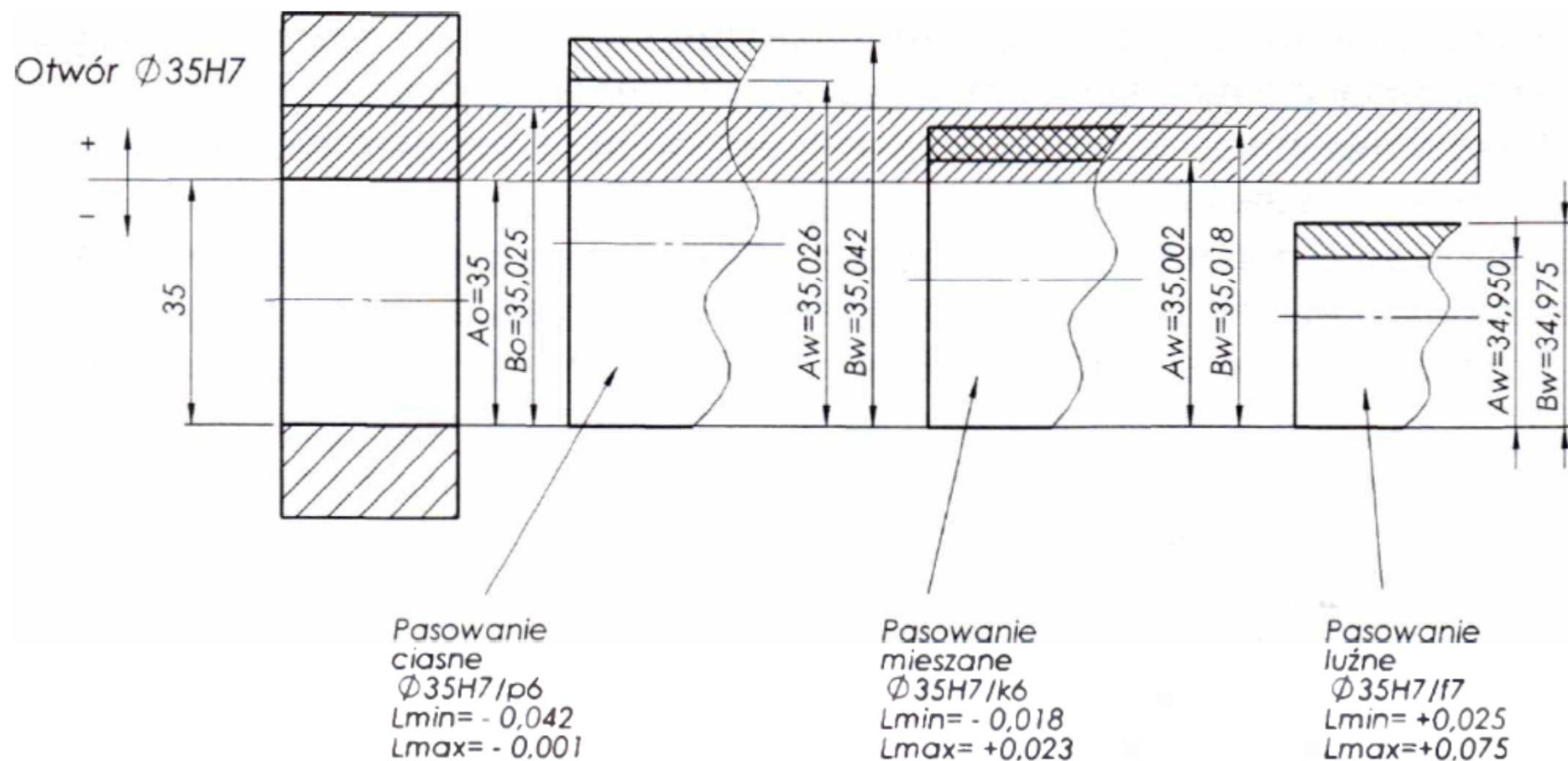
Pasowanie luźne (ruchowe) jest to połączenie, w którym występuje luz, elementy pasowane mogą się przemieszczać względem siebie.

Pasowanie mieszane to połączenie, w którym może wystąpić niewielki luz lub niewielki wcisk (luz ujemny).

Pasowanie ciasne jest to połączenie, w którym występuje wcisk, elementy po zmontowaniu nie mogą się względem siebie poruszać.

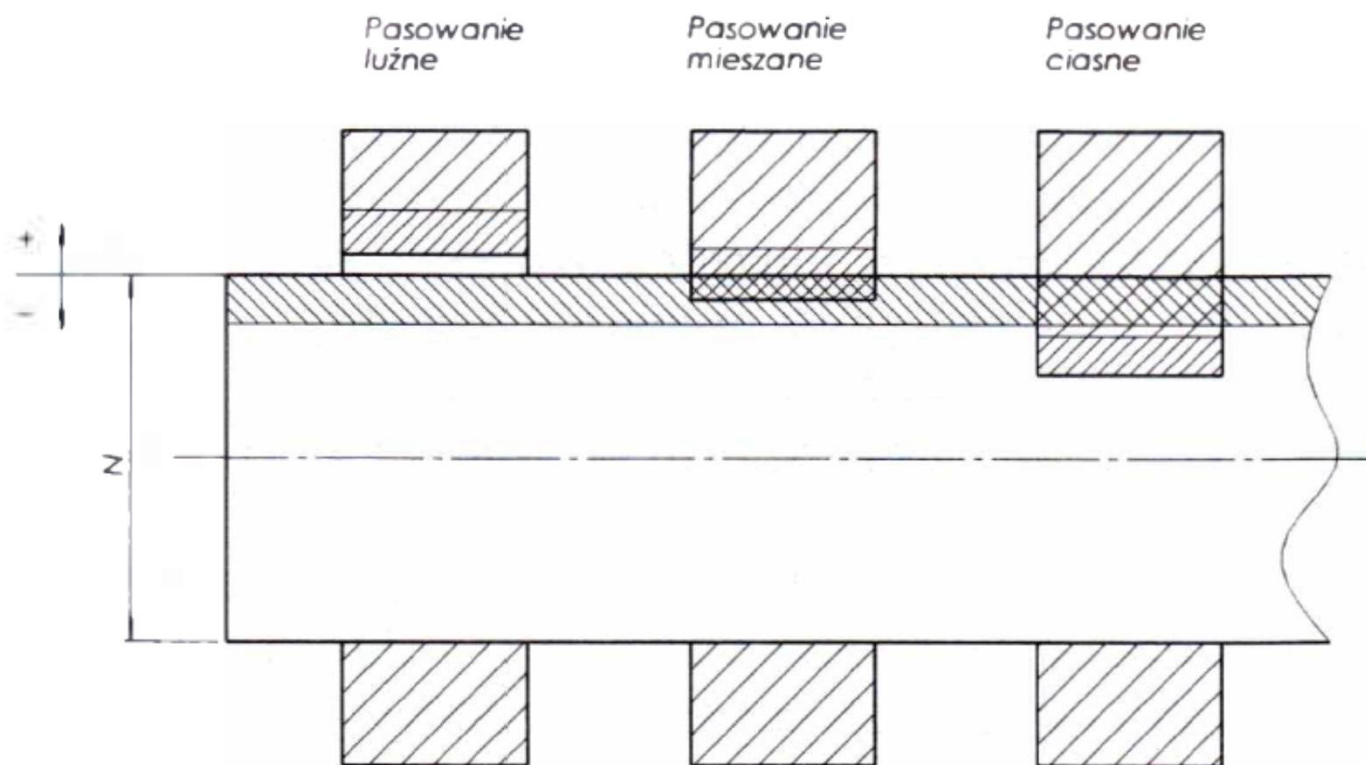
Podstawowe zasady pasowania części

Zasada stałego otworu – średnicę otworu toleruje się zawsze w głąb materiału, $El = 0$ (tolerowanie asymetryczne H); żądane pasowanie uzyskuje się poprzez dobranie odchyłek wałka. Przykłady: 16H7/e8 – pasowanie luźne, 16H8/h8 – pasowanie mieszane, 16H7/r6 – pasowanie ciasne.



Rys. 3.6. Położenie pól tolerancji przy pasowaniu według zasady stałego otworu

Zasada stałego wałka – średnicę wałka toleruje się zawsze w głąb materiału, $es = 0$ (tolerowanie asymetryczne h); żądane pasowanie uzyskuje się po przez dobranie odchyłek otworu. Przykłady: 16F8/h6 – pasowanie luźne, 16M7/h6 – pasowanie mieszane, 16S7/h6 – pasowanie ciasne.



Rys. 3.7. Położenie pól tolerancji przy pasowaniu według zasady stałego wałka

Symbole tolerancji:

$(A - H)$, $(a - h)$ – dotyczą pasowań luźnych,

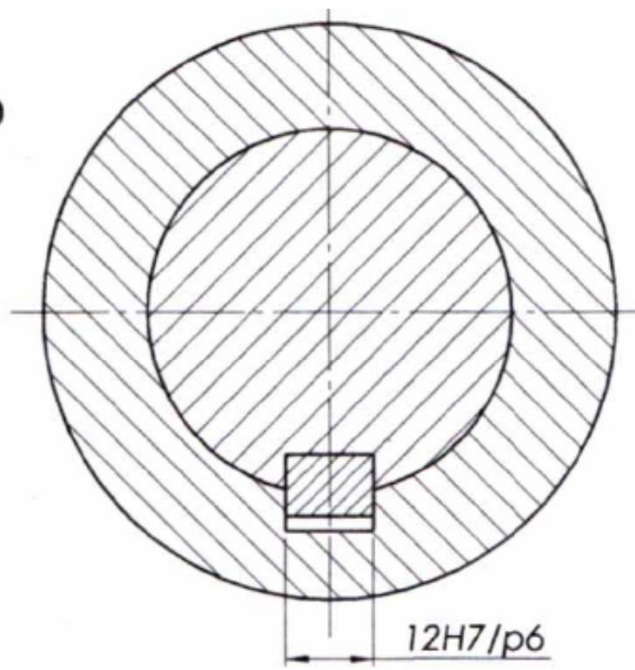
$(J - N)$, $(j - n)$ – dotyczą pasowań mieszanych,

$(P - U)$, $(p - u)$ – dotyczą pasowań ciasnych.

W budowie maszyn częściej stosuje się zasadę stałego otworu niż zasadę stałego wałka. Ponieważ łatwiej jest skorygować wymiar zewnętrzny niż wewnętrzny, zasada stałego otworu umożliwia zmniejszenie liczby rozmiarów narzędzi (np. wiertel, rozwiertaków i sprawdzianów do pomiaru otworów). Jej zaletą jest możliwość stosowania uniwersalnych narzędzi obróbkowych, zwłaszcza przy produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Dopiero produkcja masowa i wielkoseryjna daje możliwość zastosowania specjalistycznych narzędzi, przy których nie będzie problemu z dopasowaniem otworów do istniejącego wałka. Zarazem tworzy to producentowi szansę na zachowanie wyłączności w produkcji części zamiennych. Zachowanie odpowiedniego pasowania umożliwi długotrwałą, poprawną pracę skojarzenia wałka z otworem, czyli właściwą jakość części zamiennych. Zasadę stałego wałka stosuje się w przypadku potrzeby osadzenia wielu elementów na wałku, którego średnica na pewnej długości jest stała.

Pasowania normalne

Przykłady pasowań normalnych wg zasady stałego otworu podano w tablicy 3-1.



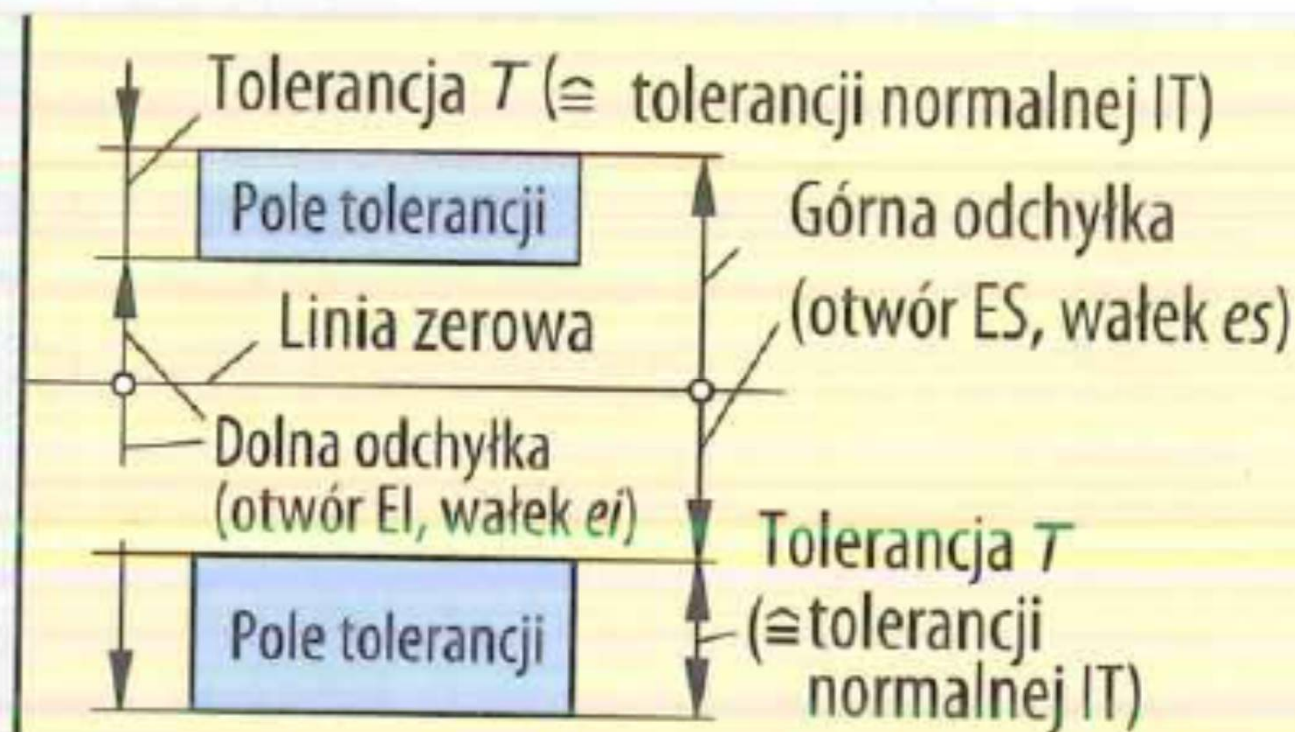
Rys. 3.8. Przykład pasowania według zasady stałego otworu

Pasowania normalne wg zasady stałego otworu

Rodzaj pasowania	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
Luźne	H5/g6	H6/f6	H7/c8	H8/c8	H9/d9	H10/d10	H11/a11	H12/b12
	H5/h4	H6/g5	H7/d8	H8/d8	H9/e8	H10/h9	H11/b11	H12/h12
		H6/h5	H7/e8	H8/d9	H9/e9	H10/h10	H11/c11	
			H7/f7	H8/e8	H9/f8		H11/d11	
			H7/g6	H8/e9	H9/f9		H11/h11	
			H7/h6	H8/f8	H9/h8			
				H8/f9	H9/h9			
				H8/h7				
				H8/h8				
				H8/h9				
Mieszane	H5/js4	H6/js5	H7/js6	H8/js7				
	H5/k4	H6/k5	H7/k6	H8/k7				
	H5/m4	H6/m5	H7/m6	H8/m7				
	H5/n4	H6/n5	H7/n6	H8/n7				
Ciasne		H6/p5	H7/p6	H8/s7				
		H6/r5	H7/r6	H8/u8				
		H6/s5	H7/s6	H8/x8				
			H7/s7	H8/z8				
			H7/t6					
			H7/u7					

Literami pogrubionymi oznaczono pasowania uprzywilejowane.

Pasowania należy dobierać tak, aby pola tolerancji wałków i otworów w tablicach zgodnie z PN-ISO 1829 były obwiedzione grubą linią.



$$ES = EI + IT$$

$$EI = ES - IT$$

$$es = ei + IT$$

$$ei = es - IT$$