

LABORATORIUM Z PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

ĆWICZENIE NR 1

SPRAWDZANIE GRUBOŚCI ZĘBÓW KOŁA WALCOWEGO

Cel ćwiczenia:

- 1) zapoznanie się z metodami pomiarów grubości zębów kół walcowych tworzących przekładnię,
- 2) zapoznanie się z analityczną metodą doboru tolerowanej wartości długości pomiarowej.

Wprowadzenie

Do zapewnienia prawidłowej pracy przekładni konieczny jest dobór odpowiedniej wartości luzu bocznego. Zbyt mały luz może prowadzić do zakleszczenia zębów (np. wskutek rozszerzalności cieplnej kół i/lub odchyłek wykonawczych kół i obudów), natomiast zbyt duży luz może być przyczyną hałaśliwości przekładni. Rozróżnia się luz boczny normalny j_n (luz boczny) oraz luz boczny obwodowy j_t (luz obwodowy). j_t

Luz boczny normalny j_n równy jest odległości między biernymi bokami zębów pary kół przy styku czynnych boków. Natomiast luz boczny obwodowy j_t jest długość łuku okręgu tocznego o który obróci się jedno z kół przy nieruchomym kole współpracującym, od styku prawych do lewych boków. Między luzem obwodowym i normalnym występuje zależność:

$$j_n = j_t \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \beta .$$

Wg zaleceń firmy MAAG minimalny luz obwodowy dla przekładni ogólnego stosowania można wyznaczać z zależności:

$$j_{nmin} = 0,02 + \frac{1}{150} \left(m_n + \frac{a}{25} \right) [mm]$$

Wg innego podziału rozróżnia się luz boczny teoretyczny, montażowy (przy odbiorze) i roboczy. Luz boczny teoretyczny określa się w sposób matematyczny uwzględniając takie odchyłki, które wpływają na jego wartość. Są to odchyłki grubości zębów obu kół, odchyłki odległości osi, odchyłki zarysu i linii zęba, odchyłki podziałki, bicia promieniowego, itp. Np. teoretyczny luz obwodowy można wyznaczyć ze wzoru:

$$j_t = \left[- (E_{s1} + E_{s2}) + 2 f_a \operatorname{tg} \alpha_n \right] / \cos \beta ,$$

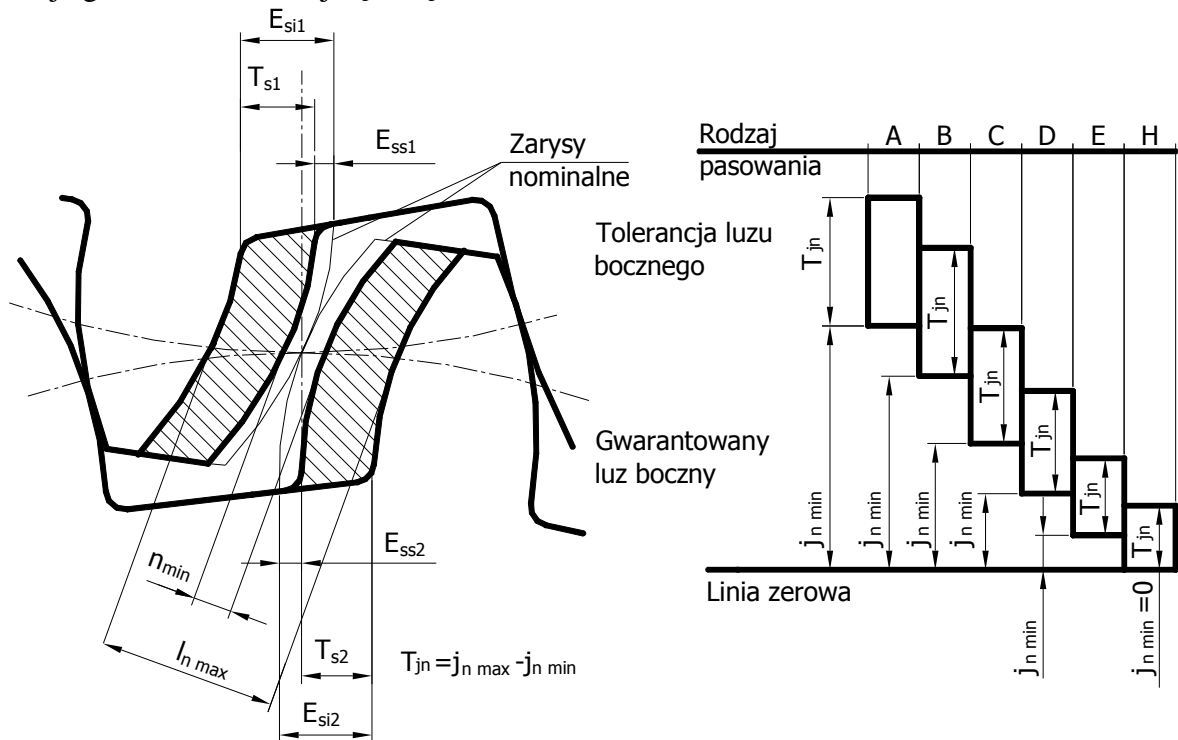
gdzie E_{s1} i E_{s2} - odchyłki grubości normalnej zębów po łuku walców podziałowych odpowiednio zębownika i koła, f_a - odchyłka odległości osi.

Luz boczny montażowy wyznacza się dla przekładni nieobciążonej. Natomiast luz boczny roboczy zależy dodatkowo od odkształceń (w tym cieplnych) kół i obudowy.

Podstawą systemu pasowania zazębienia przy stałej odległości osi jest gwarantowany luz boczny j_{nmin} (rys. 1a). System składa się z sześciu rodzajów pasowań współpracujących kół zębatych w przekładni A, B, C, D, E, H i ośmiu rodzajów tolerancji T_{jn} luzu bocznego x, y, z, a, b, c, d, h (rys. 1b). Symbole są uszeregowane w kolejności zmniejszania się luzu bocznego i jego tolerancji. Przykładowo pasowanie B zapewnia luz boczny, przy którym nie nastąpi zakleszczenie stalowych oraz żeliwnych kół przy różnicy temperatur kół i obudowy do $25^\circ C$. Położenie pola tolerancji zależy od rodzaju pasowania, a wielkość tego pola od rodzaju tolerancji. Luz boczny w przekładni powinien wynosić:

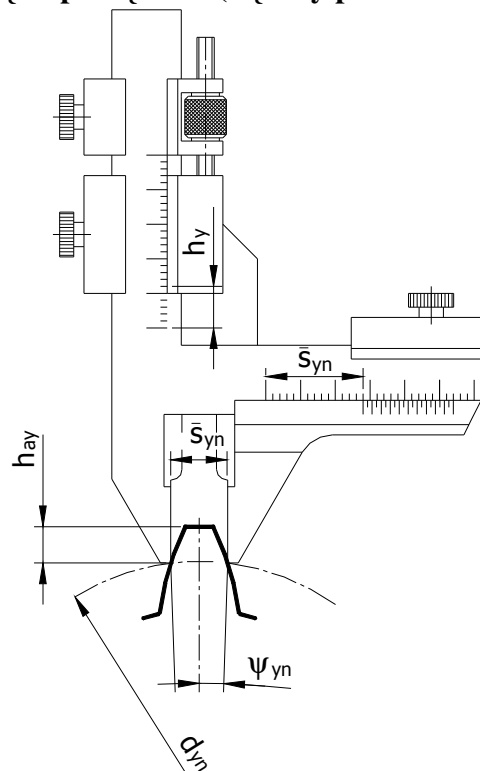
$$j_{nmin} \leq j_n \leq j_{nmax} ,$$

gdzie $j_{nmax} = j_{nmin} + T_{jn}$, T_{jn} - tolerancja luzu bocznego, $E_{ss1,2}$ - odchyłka górna grubości normalnej zęba zębnika, koła, $E_{si1,2}$ - odchyłka dolna grubości normalnej zęba zębnika, koła, $T_{s1,2}$ - tolerancja grubości normalnej zęba zębnika, koła.



Rys. 1. Odchyłki i tolerancja luzu bocznego a) wpływ odchyłek grubości zębów (tylko) na najmniejszy (gwarantowany) j_{nmin} i największy j_{nmax} luz boczny, b) położenie pól tolerancji luzu bocznego wg PN-79/M-88522 [1]

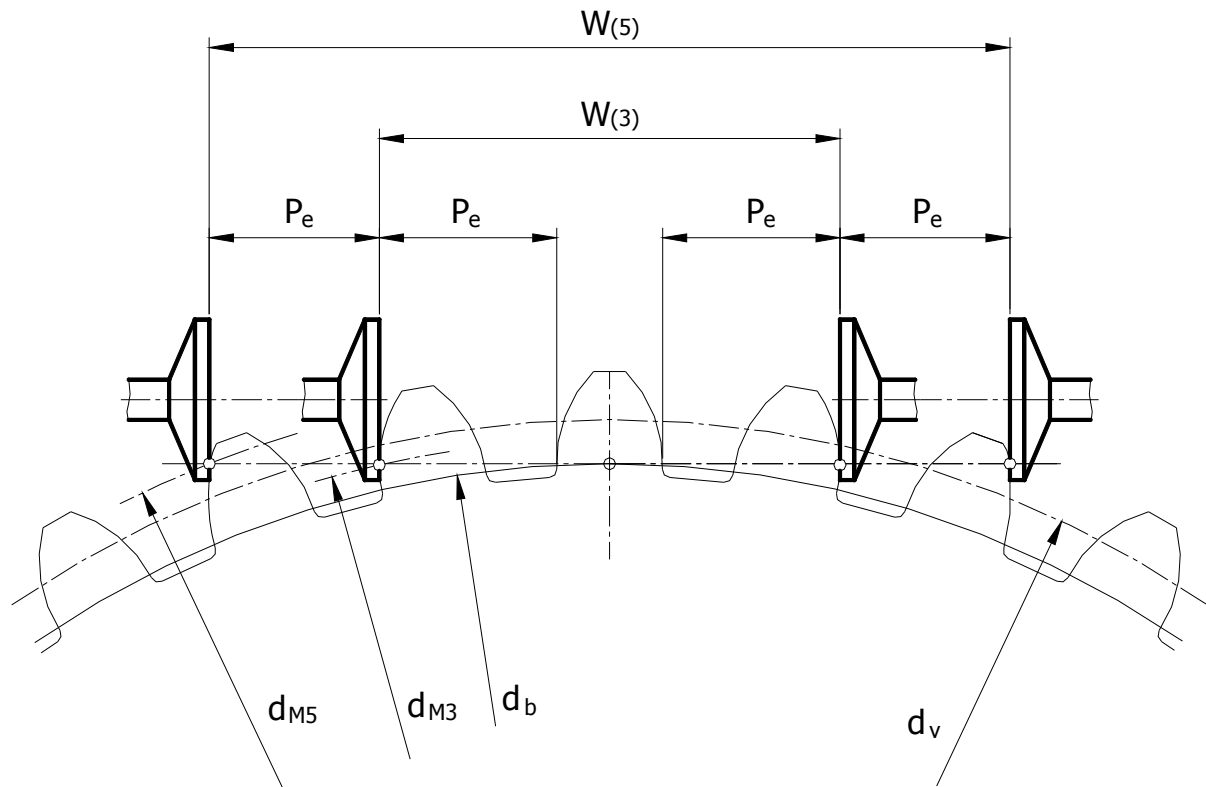
Pomiar grubości normalnej zęba po cięciu (cięciwy pomiarowej)



Rys. 2. Pomiar grubości zęba suwmiarką modułową [1]

Pomiar długości pomiarowej mikrometrem talerzykowym

Zasadę pomiaru przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Długość pomiarowa przez 5 zębów $W^{(5)}$ oraz przez 3 zęby $W^{(3)}$ w kole zewnętrznym [1]

- Pomiar długości pomiarowej $W^{(k)}$

❖ Wielkość pomiarowa przez k zębów:

$$W^{(k)} = m_n \cdot \cos \alpha_n \cdot \left[\left(k - \frac{z}{2|z|} \right) \cdot \pi + z \cdot \operatorname{inv} \alpha_t \right] + 2 \cdot x \cdot m_n \cdot \sin \alpha_n$$

❖ Pomiarowa liczba zębów (wrębów) k

$$k = \frac{z}{|z|} \cdot \operatorname{integer} \left[\frac{z}{\pi} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_{vt}}{\cos^2 \beta_b} - 2 \cdot \frac{x}{z} \cdot \operatorname{tg} \alpha_n - \operatorname{inv} \alpha_t \right) \cdot \frac{z}{|z|} + 1 \right]$$

gdzie α_{vt} - kąt zarysu na walcu odniesienia (V) o średnicy d_v :

$$\cos \alpha_{vt} = \frac{\cos \alpha_t}{1 + 2 \cdot \frac{x}{z} \cdot \cos \beta}$$

β_b - kąt pochylenia linii zęba na walcu zasadniczym o średnicy d_b :

$$\operatorname{tg} \beta_b = \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha_t$$

Uwaga: minimalna szerokość koła o zębach skośnych, przy której pomiar jest pewny:

- dla ostrych krawędzi czołowych zęba:

$$b \geq W^{(k)} \cdot \sin |\beta_b| + (1,2 + 0,018 \cdot W^{(k)}) \cdot \cos \beta_b$$

- dla sfazowanych krawędzi czołowych zęba:

$$b \geq W^{(k)} \cdot \sin|\beta_b| + (2,0 + 0,03 \cdot W^{(k)}) \cdot \cos\beta_b.$$

- ❖ Wartości graniczne długości pomiarowej (tablica 16 i 19 PN)

- dla kół uzębionych zewnątrz ($E_{Wi} < 0$)

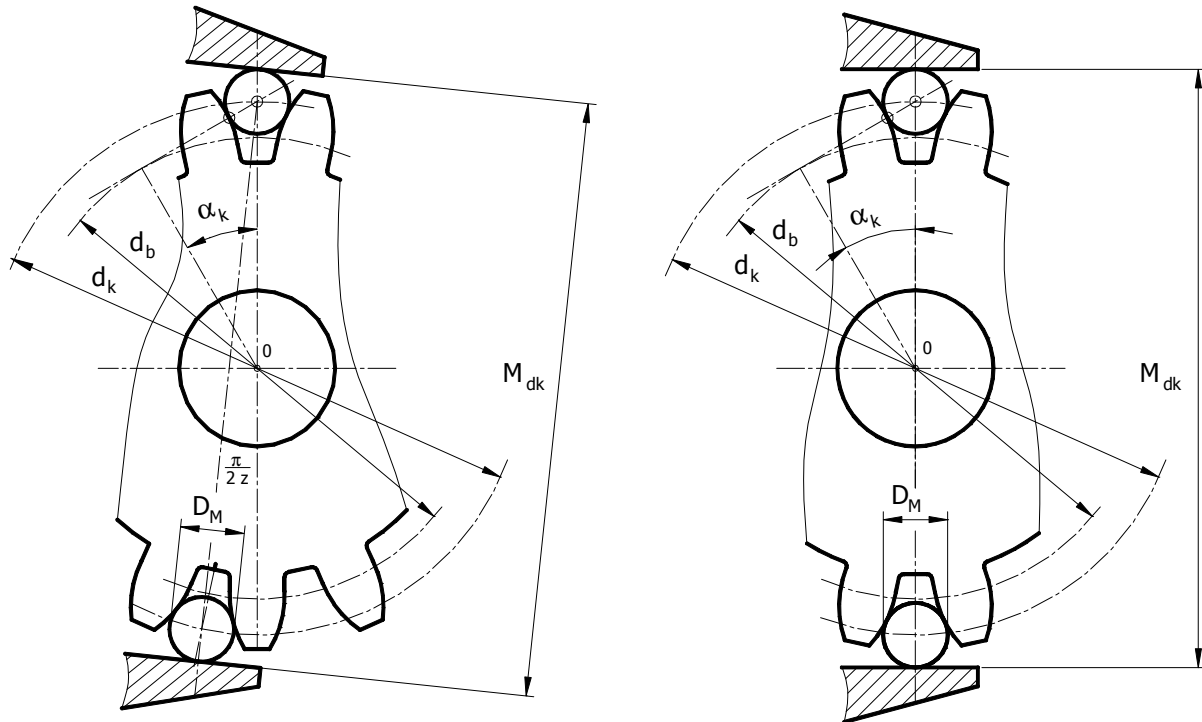
$$E_{Wi} = E_{Ws} - T_W$$

- dla kół uzębionych wewnątrz ($E_{Ws} > 0$)

$$E_{Ws} = E_{Wi} + T_W.$$

Pomiar wymiaru średnicowego przez kulki

Zasadę pomiaru przedstawia rys. 3.



Rys. 4. Wymiar średnicowy przez kulki w kole zewnętrznym o parzystej i nieparzystej liczbie zębów

- Pomiar wymiaru średnicowego M_{dk} przez kulki
 - ❖ Wymiar średnicowy dla koła z parzystą liczbą zębów:

$$M_{dk} = d_k + D_M$$

- ❖ Wymiar średnicowy dla koła z nieparzystą liczbą zębów:

$$M_{dk} = d_k \cdot \cos \frac{\pi}{2z} + D_M$$

- ❖ Średnica kulki

$$D_M \cong z_{nM} \cdot m_n \cdot \cos \alpha_n \cdot (\operatorname{tg} \alpha_{KnM} - \operatorname{tg} \alpha_{vnM})$$

gdzie: z_{nM} - zastępcza liczba zębów przy pomiarze przez kulki lub wałeczki (dla kół wewnętrznych ($z < 0$))

$$z_{nM} = \frac{z}{\cos^{3,3} \beta}$$

$$\cos \alpha_{vnM} = \frac{z_{nM} \cdot \cos \alpha_n}{z_{nM} + 2x}, \quad \alpha_{KnM} = \operatorname{tg} \alpha_{vnM} - \operatorname{inv} \alpha_n + \frac{\pi - 4x \operatorname{tg} \alpha_n}{2z_{nM}}$$

Dobór znormalizowanej nominalnej średnicy kulki pomiarowej wg tabeli:

1	2,25	4	6,5	11
1,1	2,5	4,25	7	12
1,25	2,75	4,5	7,5	14
1,4	3	5	8	15
1,5	3,25	5,25	9	16
1,75	3,5	5,5	10	
2	3,75	6	10,5	

❖ Średnica d_K okręgu na którym leżą środki kulek

$$d_K = d \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{Kt}}$$

gdzie $\operatorname{inv} \alpha_{Kt} = \frac{D_M}{z \cdot m_n \cdot \cos \alpha_n} - \eta + \operatorname{inv} \alpha_t, \quad \eta = \frac{\pi - 4 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{2z}.$

❖ Sprawdzenie poprawności pomiaru

- dla kół zewnętrznych

$$(d_v + 1,4m_n) \geq d_M \geq (d_v - m_n)$$

gdzie d_M - średnica walca na którym leżą punkty styku pomiędzy kulką a obydwoma bokami zębów:

$$d_M = \frac{z \cdot m_n \cdot \cos \alpha_t}{\cos \beta \cdot \cos \alpha_M}$$

przy czym

$$\operatorname{tg} \alpha_M = \operatorname{tg} \alpha_{Kt} - \frac{D_M}{z \cdot m_n} \cdot \frac{1 - \cos^2 \alpha_n \cdot \sin^2 \beta}{\cos \alpha_n}$$

oraz $d_v = \frac{d_b}{\cos \alpha_{vt}}.$

- dla kół wewnętrznych

$$|(d_v + m_n)| \leq |d_M| \leq |(d_v - m_n)|.$$

❖ Graniczne wymiary średnicowe

- dla kół uzębionych zewnętrznie

$$E_{Ms} \cong \frac{E_{Wms}}{\sin \alpha_{Kt} \cdot \cos \beta_b}, \quad T_M \cong \frac{T_{Wm}}{\sin \alpha_{Kt} \cdot \cos \beta_b},$$

$$E_{Mi} = E_{Ms} - T_M ;$$

- dla kół uzębionych wewnątrznie

$$E_{Mi} \cong \frac{E_{Wmi}}{\sin \alpha_{kt} \cdot \cos \beta_b} \quad E_{Ms} = E_{Mi} - T_M,$$

gdzie E_{Wmi} - największa odchyłka średniej długości pomiarowej dla koła o uzębieniu zewnętrznym lub najmniejsza odchyłka średniej długości pomiarowej dla koła o uzębieniu wewnętrznym, E_{Wms} - najmniejsza odchyłka średniej długości pomiarowej dla koła o uzębieniu zewnętrznym lub największa odchyłka średniej długości pomiarowej dla koła o uzębieniu wewnętrznym (wg tablicy 16 i 17 PN), T_{Wm} - tolerancja średniej długości pomiarowej (wg tablicy 18 PN).

Literatura

1. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A., Przekładnie walcowe. WKiŁ Warszawa 1992
2. PN-79/M-88522
3. Ochęduszek K., Koła zębate. Sprawdzanie. WNT Warszawa 1970
4. PN-ISO 1328
5. ANSI/AGMA 2000 –A88

ĆWICZENIE

A) Wyznaczenie długości pomiarowej mikrometrem talerzykowym

a) dobór pomiarowej liczby zębów

b) wyniki pomiarów

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$W^{(k)}$															

c) dobór górnej odchyłki granicznej $E_{ws} < 0$ dla:

- ❖ rodzaju pasowania:
- ❖ klasy dokładności (wg wymagań płynności pracy):
- ❖ średnicy podziałowej:

d) dobór odchyłki dopuszczalnego bicia promieniowego uzębienia F_r dla:

- ❖ klasy dokładności (wg wymagań dotyczących dokładności kinematycznej, płynności pracy i przylegania zębów):
- ❖ modułu:
- ❖ średnicy podziałowej:

e) dobór tolerancji długości pomiarowej T_w dla:

- ❖ rodzaju pasowania:
- ❖ rodzaju tolerancji:
- ❖ odchyłki dopuszczalnego bicia promieniowego F_r :

f) dobór drugiej odchyłki granicznej (odchyłki dolnej $E_{wi} < 0$):

$$E_{wi} = E_{ws} - T_w = \dots\dots\dots$$

e) wnioski z pomiarów:

Tabela 1. Dopuszczalne bicie promieniowe F_r w [μm]. (Wyciąg z Tabl. 6 [2])

Klasa dokładności	Moduł m [mm]	Średnica podziałowa d [mm]	
		do 125	powyżej 125 do 400
6	od 1 do 3,5	25	36
	powyżej 3,5 do 6,3	28	40
7	od 1 do 3,5	36	50
	powyżej 3,5 do 6,3	40	56
8	od 1 do 3,5	45	63
	powyżej 3,5 do 6,3	50	71

b) dobór I składnika najmniejszej odchyłki średniej długości pomiarowej $E_{Wms} < 0$ dla:

- ❖ rodzaju pasowania:
- ❖ klasy dokładności (wg wymagań płynności pracy):
- ❖ średnicy podziałowej:

c) dobór odchyłki dopuszczalnego bicia promieniowego uzębienia F_r dla:

- ❖ klasy dokładności (wg wymagań dotyczących dokładności kinematycznej, płynności pracy i przylegania zębów):
- ❖ modułu:
- ❖ średnicy podziałowej:

d) dobór II składnika najmniejszej odchyłki średniej długości pomiarowej $E_{Wms} < 0$ dla:

- ❖ odchyłki dopuszczalnego bicia promieniowego F_r :

e) dobór tolerancji długości pomiarowej T_{Wm} dla:

- ❖ rodzaju pasowania:
- ❖ rodzaju tolerancji:
- ❖ odchyłki dopuszczalnego bicia promieniowego F_r :

f) dobór drugiej odchyłki granicznej (odchyłki dolnej $E_{Wmi} < 0$):

$$E_{Wmi} = E_{Wms} - T_{Wm} \dots\dots\dots$$

g) wnioski z pomiarów:

Tabela 4. Najmniejsza odchyłka średniej długości pomiarowej $E_{Wms} < 0$ w [μm] (I składnik).
(Wyciąg z Tabl. 16 [2])

Rodzaj pasowania	Klasa dokładności	Średnica podziałowa d w [mm]					
		do 80	powyżej 80 do 125	powyżej 125 do 180	powyżej 180 do 250	powyżej 250 do 315	powyżej 315 do 400
H	3 do 6	8	10	11	12	14	16
	7	10	10	12	14	16	18
E	3 do 6	20	24	28	30	35	40
	7	25	30	30	35	40	45
D	3 do 6	30	35	40	50	55	60
	7	35	40	50	55	60	70
	8	40	50	50	60	70	70
C	3 do 6	50	60	70	80	90	100
	7	55	70	70	80	100	110
	8	60	80	80	100	110	120
B	3 do 6	80	100	110	120	140	160
	7	100	110	120	140	180	180
	8	100	110	140	140	180	200
A	3 do 6	120	140	180	200	220	250
	7	140	180	200	200	250	280
	8	160	200	200	250	280	300

Tabela 5. Najmniejsza odchyłka średniej długości pomiarowej $E_{Wms} < 0$ w [μm] (II składnik).
(Wyciąg z Tabl. 17 [2])

Dopuszczalne bicie promieniowe uzębienia F_r w [μm]					
powyżej 20 do 25	powyżej 25 do 32	powyżej 32 do 40	powyżej 40 do 50	powyżej 50 do 60	powyżej 60 do 80
5	7	9	11	14	18

Tabela 6. Tolerancja średniej długości pomiarowej T_{Wm} w [μm]. (Wyciąg z Tabl. 18 [2])

Rodzaj pasowania	Rodzaj tolerancji ¹⁾	Dopuszczalne bicie promieniowe uzębienia F_r w [μm]					
		powyżej 20 do 25	powyżej 25 do 32	powyżej 32 do 40	powyżej 40 do 50	powyżej 50 do 60	powyżej 60 do 80
H, E	h	20	22	25	25	28	30
D	d	30	35	40	40	40	60
C	c	45	45	50	60	70	90
B	b	50	55	60	70	100	100
A	a	60	80	90	100	110	140
-	z	80	100	110	120	140	280

¹⁾ Stosuje się przy niezgodności rodzaju tolerancji luzu bocznego z rodzajem pasowania

Opracowanie: J. Drewniak, J. Rysiński